

# INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

ESCUELA DE DISEÑO, INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



ADMAS: Rediseño del sistema de control de dirección

AUTOR:

Roger Climent Semper

A01678389

ASESORES:

DR. MARTÍN ROGELIO BUSTAMANTE BELLO

ING. JAVIER IZQUIERDO REYES

CAMPUS CIUDAD DE MÉXICO

Enero – Mayo / 2018

## 0. Resumen

En este primer apartado se va a proceder a describir el contenido de este informe de manera resumida.

Este trabajo fue realizado por estudiantes involucrados en el proyecto ADMAS. El proyecto ADMAS se dedica a la investigación para la generación de nuevos sistemas de asistencia avanzada a la conducción. La principal causa de accidente en el sector transporte es el factor humano, por lo que, reduciendo su intervención en varios aspectos de la conducción, se reduce también el número de accidentes en las vías públicas. Esta es la motivación principal del proyecto.

Dentro de ADMAS, este subproyecto en concreto tiene como objetivo el rediseño de un sistema mecánico para el control de la dirección del vehículo, sin la intervención de un usuario. Hay unos antecedentes de un modelo funcional construido. Este sistema construido, tenía un seguido de carencias e inconvenientes, por lo que, en este proyecto, se construyó uno nuevo con el objetivo de mejorar algunas de las prestaciones del sistema, como la seguridad, funcionalidad, nivel intrusivo, etc.

Este informe describe detalladamente el desarrollo del nuevo modelo, des de los primeros diseños en CAD y simulaciones de esfuerzos, hasta la construcción y los test de funcionamiento del prototipo final en un vehículo de pruebas.

La conclusión es que se consiguió construir un sistema, mejorando sus prestaciones en comparación con el modelo antecesor. Aun así, hay un seguido de aspectos a mejorar para seguir desarrollando el prototipo estos están detallados al final del presente informe.

En la siguiente imagen se muestra el modelo antecesor y el resultado final del prototipo construido durante este proyecto.



**Imagen 0.1:** presentación del sistema antecesor y el prototipo final (fuente: fotografía propia).

## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>0. RESUMEN</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>  | <b>3</b>  |
| 1.1. Justificación  | 4         |
| 1.1.1. Antecedentes del proyecto                                  | 5         |
| 1.2. Objetivos  | 8         |
| 1.2.1. Alcance del proyecto                                       | 8         |
| 1.3. Plan de actividades  | 9         |
| <b>2. DESARROLLO</b>  | <b>10</b> |
| 2.1. Generación de nuevos diseños en CAD                          | 10        |
| 2.2. Selección del motor eléctrico                                | 21        |
| 2.3. Diseño final del modelo seleccionado                         | 23        |
| 2.4. Selección del material de construcción                       | 33        |
| <b>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>                                  | <b>34</b> |
| 3.1. Modificaciones estructurales                                 | 34        |
| 3.2. Alineamiento del eje de rotación                             | 38        |
| 3.3. Prueba de funcionamiento 1 - 09/03/2018                      | 40        |
| 3.4. Modificaciones para sujeción des de la ventanilla del piloto | 44        |
| 3.5. Prueba de funcionamiento 2 - 16/03/2018                      | 47        |
| 3.6. Restablecimiento de sujeción des del vidrio frontal          | 49        |
| 3.7. Prueba de funcionamiento 3 - 12/04/2018                      | 55        |
| <b>4. SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE ESFUERZOS (SOLIDWORKS)</b>      | <b>63</b> |
| 4.1. Rueda dentada de motor                                       | 63        |
| 4.2. Pasador del eje motor  | 69        |
| <b>5. GUÍA DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA</b>                         | <b>74</b> |
| <b>6. IMPACTO AMBIENTAL</b>                                       | <b>77</b> |
| <b>7. CONCLUSIONES</b>  | <b>79</b> |
| <b>8. TRABAJO A FUTURO</b>  | <b>82</b> |
| <b>9. PRESUPUESTO</b>   | <b>85</b> |
| <b>10. DILEMA ÉTICO</b>   | <b>87</b> |
| <b>11. BIBLIOGRAFÍA</b>   | <b>87</b> |
| <b>12. ANEXOS</b>   | <b>89</b> |

## 1. Introducción

ADMAS (“advance driving monitoring for assistance system” Sistema avanzado de control para la conducción asistida) es un Proyecto que se lleva a cabo por profesores y estudiantes del Instituto Tecnológico de Monterrey en el campus de Ciudad de México. La finalidad de este proyecto es conseguir una conducción semiautónoma de un vehículo Ford Focus, mediante un diseño propio de un sistema de control, basándose en el estado psicofisiológico del conductor.

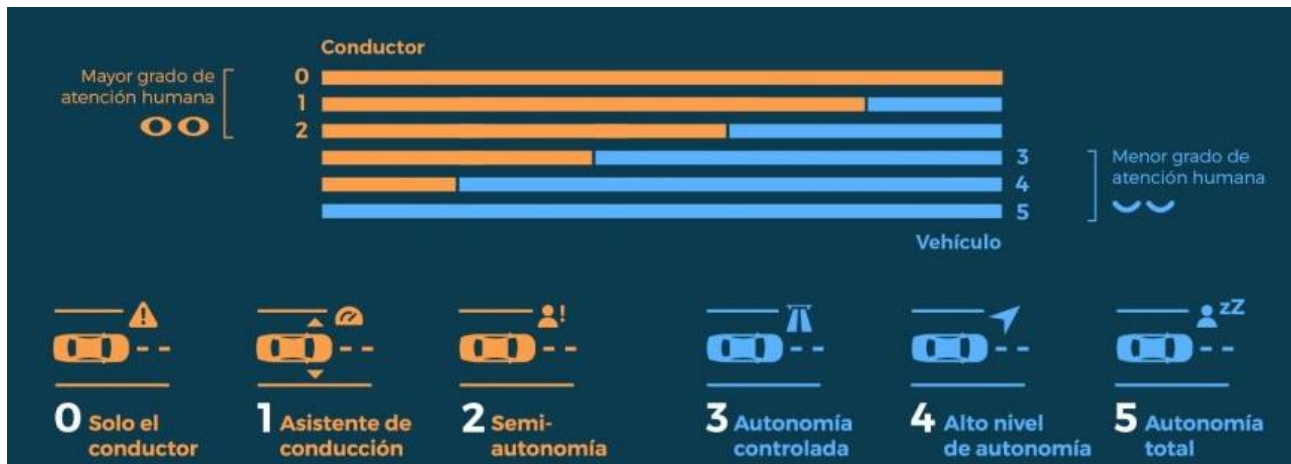
### Niveles de autonomía:

Para introducir la temática del proyecto, se va a proceder a describir como se clasifican los automóviles en la actualidad según su nivel de autonomía.

Las compañías automovilísticas empiezan a introducir funciones autónomas en sus coches liberando así al conductor de ciertas acciones al volante. Actualmente en el mercado, se pueden encontrar coches que aparcen solos o que circulan de manera prácticamente autónoma por autovía.

La SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices) es el organismo de normalización del automóvil que decidió dividir en 6 niveles la capacidad de conducción autónoma de un vehículo, desde los sistemas más básicos hasta la conducción 100% autónoma.

En la siguiente imagen se muestra la clasificación según el nivel de autonomía:



**Imagen 1.1:** clasificación del automóvil por nivel de autonomía (fuente: SAE).

A continuación, se describen las principales las características en cada nivel:

- Nivel 0: el automóvil no tiene ningún sistema automatizado que le permita tomar el control, sólo puede tener sistemas que emitan alguna advertencia.
- Nivel 1: en este nivel los vehículos incluyen sistemas como el control de crucero o la tecnología para mantener el coche en el carril.

- Nivel 2: aquí el vehículo puede denominarse semiautónomo. El conductor debe permanecer en alerta por si en algún momento tiene que tomar el control del coche, ya que éste puede no responder adecuadamente, y es obligatorio que el sistema se desactive cuando el conductor tome el control.
- Nivel 3: los vehículos pueden circular de forma autónoma en entornos controlados como autopistas. Aun así, el conductor debe permanecer atento.
- Nivel 4: los coches autónomos pueden circular sin supervisión del conductor en áreas acotadas donde el coche tenga suficiente información para no depender del conductor.
- Nivel 5: la conducción autónoma en este nivel es completa. Puede circular por cualquier carretera o ciudad siempre y cuando sea legal la conducción autónoma. Gracias a la tecnología, el coche podrá reaccionar ante cualquier imprevisto.

#### **Propósito del proyecto ADMAS:**

El nivel de autonomía que se pretende conseguir en ADMAS, se situaría en nivel 3 – 4. En este proyecto, se quiere llegar a programar rutas sin intervención humana a partir del inicio del movimiento del automóvil. Solo habría intervención humana directa en el caso de que apareciera una situación en la que la influencia de los elementos externos al vehículo, no pudiera ser controlada por el sistema de control y pudiera causar una situación de riesgo.

**Nota:** Situación de riesgo va referido a la posibilidad de daños a los integrantes del vehículo, a agentes externos, al propio vehículo o a las vías e instalaciones públicas.

Este proyecto ya ha sido trabajado por otros estudiantes anteriormente. En este informe, se pretende avanzar en la mejora del sistema mecánico de control del vehículo.

#### **1.1. Justificación**

En la actualidad, los estudios de accidentes de tráfico realizados por todo el mundo. Demuestran que, por lo general, la gran mayoría de accidentes son causados por errores humanos. Distracción al volante, conducción temeraria, exceso de velocidad, conducción bajo los efectos de bebidas alcohólicas o drogas, etc.

Con esto justificamos la motivación del proyecto ADMAS, investigar vías de asistencia al conductor, para reducir al máximo su intervención en varios aspectos de la conducción. No solo reduciendo, pero también ayudando a corregir posibles errores de actuación. Algunos de estos aspectos serían la participación en la aceleración y frenado, la detección de obstáculos, el tipo o estilo de conducción dependiendo del estado físico y psicológico del conductor, etc. En el caso del proyecto presente se centra en la asistencia en la dirección del automóvil.

Dentro del proyecto ADMAS, hay diferentes grupos de trabajo compuesto por profesores y estudiantes del ITESM. Estos son subproyectos con objetivos específicos, donde se encargan de diferentes aspectos relacionados con la asistencia a la conducción.

Este subproyecto busca el avance en el proyecto ADMAS, y se centra concretamente en el rediseño del sistema mecánico de control de la dirección. Con el fin de mejorar varios aspectos del sistema que ya se había construido.

Tras el trabajo realizado en los informes de semestres anteriores, en las primeras etapas del proyecto se consiguió unos primeros modelos funcionales para el control de las tres variables de interés (dirección, aceleración y frenado).

A continuación, se hace una breve descripción enfocado principalmente al diseño mecánico del sistema de control de la dirección y de los pedales, de los modelos generados en informes anteriores del proyecto.

### 1.1.1. Antecedentes del proyecto

#### ➤ 1er informe

Título del proyecto: Implementación de sistema mecatrónico para control de dirección.

Descripción: este proyecto se centró en el diseño para el control de la dirección del vehículo, tras estudiar diferentes opciones se llegó a construir un modelo final de control de la dirección.

En la siguiente imagen se muestra el modelo construido y acoplado en el automóvil:



**Imagen 1.1.1:** sistema actuador para el control de la dirección (fuente: memoria del 1er informe)

El sistema se compone de las siguientes partes:

- Acoplamiento en el volante para la transmisión de giro del motor eléctrico a la dirección del vehículo.
- Motor eléctrico
- Soporte para el motor eléctrico.
- Cadena de transmisión del movimiento giratorio del motor.



➤ **2do informe**

Título del proyecto: Implementación de Sistema Mecatrónico para control de Aceleración y Frenado

Descripción: esta etapa del proyecto empezó por mejorar algunos aspectos del sistema de control de dirección.

- Se reemplazó el tren de engranajes del acoplamiento al volante por uno en mejor estado. Ya que, a causa del mal estado de los dientes, había problemas de transmisión.
- Como la sujeción del soporte al vehículo no era suficientemente completa, las vibraciones del conjunto hacían saltar la cadena. Por lo que se añadió un soporte que se apoyaba en el coche y reducía vibraciones.

A continuación, se muestra una imagen del apoyo extra soldado en la estructura de acoplamiento del motor:



**Imagen 1.1.2:** apoyo extra soldado en el soporte del motor (fuente: fotografía propia).

- Se añadió una placa metálica entre el primer piñón y el eje del motor eléctrico y se desplazó el soporte del motor eléctrico encima de la estructura, cortando y soldando de nuevo en la posición correcta. Se procedió a hacer todo eso con el objetivo de mejorar la alineación de las ruedas dentadas del motor con las ruedas dentadas de volante, con el fin de conseguir que se encontraran en el mismo plano.

En las siguientes imágenes se muestran las mejoras descritas:



**Imagen 1.1.3:** placa soldada en el eje del motor (fuente: fotografía propia).



**Imagen 1.1.4:** desplazamiento del soporte sobre la estructura (fuente: fotografía propia).

Una vez mejorados algunos aspectos del sistema de control de la dirección, se inició el diseño de los actuadores para monitorear aceleración y frenado.

Una vez más, después de un estudio en detalle de las diferentes opciones, se llegó a construir un modelo final, se hicieron pruebas de operatividad y se concluyó que además de ser mínimamente invasivo funcionaba satisfactoriamente.

A continuación, se muestran imágenes del sistema construido:



**Imagen 1.1.5:** sistema de control de los pedales (fuente: memoria del 2do informe).

El sistema se compone de las siguientes partes:

- Una estructura metálica que va atornillada al chasis del vehículo y a la que los actuadores están soldados.
- Dos Motores eléctricos.
- Dos actuadores (uno para cada pedal), compuestos por un tornillo, una rosca y el extremo que entra en contacto con el pedal. Este conjunto transforma el movimiento giratorio del motor, en rectilíneo, para el correcto avance y retroceso de los pedales.



## 1.2. Objetivos

### **Objetivos generales**

Siguiendo la línea de los informes anteriores, se pretende avanzar y mejorar el sistema de control de la conducción de un vehículo Ford Focus fabricado el año 2013, con sistema de cambio automático y dirección asistida eléctricamente. Basándose en el estado psicofisiológico del conductor, conseguir que la dirección, aceleración y frenado funcionen, sin la intervención directa de un usuario.

### **Objetivos específicos**

Esta fase del proyecto ADMAS trata del rediseño mecánico del sistema de control de la dirección. Aun siendo un sistema funcional, el que se tiene en la actualidad. Hay aspectos de importancia que se pretende mejorar.

A continuación, se describen los aspectos fundamentales que se van a tener en cuenta en el rediseño del nuevo sistema:

#### 1.2.1. Alcance del proyecto

- **Funcionalidad:** Después de haber estado trabajando en un mismo modelo de control de dirección durante el proyecto ADMAS, se ha decidido rediseñar el sistema buscando un nuevo modelo más eficiente, en que las fallas por funcionamiento mecánico sean mínimas.
- **Invasión en el interior del automóvil:** El sistema actual inhabilita de manera relevante la cabina del copiloto y levemente la del piloto. Otro de los objetivos es que ambos integrantes puedan estar cómodamente dentro del vehículo mientras el sistema está en funcionamiento.
- **Seguridad:** Actualmente hay componentes metálicos del sistema que están expuestos, no protegidos, y algunos de ellos con formas afiladas o punzantes. En caso de accidente podrían entrar en contacto directo con los integrantes del vehículo. Además, algunos de estos componentes metálicos inhabilitan los airbags tanto del piloto como del copiloto (airbag o bolsa de aire: sistema de seguridad pasiva del vehículo). En este proyecto se intentará que los airbags del vehículo puedan funcionar correctamente, que el sistema este lo más alejado posible de los integrantes del vehículo y que se afecte mínimamente a los demás sistemas de seguridad.

### 1.3. Plan de actividades

A continuación, se muestra una vista general de planificación del proyecto mediante el uso de un diagrama de Gantt:

**Tabla 1.3.1:** Planificación del proyecto

| N° actividad | Descripción  | Enero |   |   | Febrero |   |   |   | Marzo |   |    |    |    | Abril |    |    |    | Mayo |    |
|--------------|--|-------|---|---|---------|---|---|---|-------|---|----|----|----|-------|----|----|----|------|----|
|              |  | 1     | 2 | 3 | 4       | 5 | 6 | 7 | 8     | 9 | 10 | 11 | 12 | 13    | 14 | 15 | 16 | 17   | 18 |
| 1            | Análisis situación Proyecto ADMAS                          | ■     |   |   |         |   |   |   |       |   |    |    |    |       |    |    |    |      |    |
| 2            | Estudio de diseños de empresas Punteras                    | ■     |   |   |         |   |   |   |       |   |    |    |    |       |    |    |    |      |    |
| 3            | Generación de nuevos diseños en CAD                        |       | ■ | ■ |         |   |   |   |       |   |    |    |    |       |    |    |    |      |    |
| 4            | Selección del motor eléctrico                              |       |   | ■ |         |   |   |   |       |   |    |    |    |       |    |    |    |      |    |
| 5            | Selección de materiales para la construcción               |       |   | ■ | ■       |   |   |   |       |   |    |    |    |       |    |    |    |      |    |
| 6            | Diseño final en CAD de modelo Seleccionado                 |       |   | ■ | ■       | ■ |   |   |       |   |    |    |    |       |    |    |    |      |    |
| 7            | Estudio del comportamiento del modelo diseñado             |       |   |   |         | ■ | ■ | ■ | ■     |   |    |    |    |       |    |    |    |      |    |
| 8            | Construcción del modelo                                    |       |   |   |         | ■ | ■ | ■ | ■     |   |    |    |    |       |    |    |    |      |    |
| 9            | Acoplamiento en el vehículo                                |       |   |   |         |   |   |   |       | ■ |    |    |    |       |    |    |    |      |    |
| 10           | Pruebas de funcionamiento                                  |       |   |   |         |   |   |   |       | ■ | ■  | ■  | ■  | ■     | ■  | ■  |    |      |    |
| 11           | Análisis de resultados e incorporación de posibles mejoras |       |   |   |         |   |   |   |       |   | ■  | ■  | ■  | ■     | ■  | ■  |    |      |    |
| 12           | Simulación computacional de esfuerzos                      |       |   |   |         |   |   |   |       |   |    |    |    |       |    |    | ■  | ■    |    |
| 13           | Informe del trabajo realizado                              | ■     | ■ | ■ | ■       | ■ | ■ | ■ | ■     | ■ | ■  | ■  | ■  | ■     | ■  | ■  | ■  | ■    | ■  |

## 2. Desarrollo

Una vez analizada la situación en la que se encuentra el proyecto ADMAS, y estudiados los modelos diseñados por las empresas punteras de este tipo de tecnología. Se empezó a pensar en posibles opciones de diseño.

A parte de buscar cumplir los objetivos específicos mencionados anteriormente. Hay varios requisitos, condiciones y limitaciones que se tuvieron en cuenta y se intentaron cumplir. Estas se mencionan a continuación:

- Dentro de lo posible, aprovechamiento de material y componentes construidos en el sistema anterior.
- Buscar opciones económicamente viables al presupuesto. Eso conlleva entre otras cosas, sistemas no muy complejos, ya que aumentaría el precio de su construcción, y materiales comunes en la industria.
- Modificar el vehículo lo menos posible, cualquier perforación, arranque de material, soldadura, etc. Podría afectar al correcto funcionamiento del vehículo o simplemente disminuir su valor afectando así a la economía de su propietario.

### 2.1. Generación de nuevos diseños en CAD

A continuación, se muestran las primeras ideas de diseño propuestas para el nuevo actuador:

#### 1. **Modelo 1:**

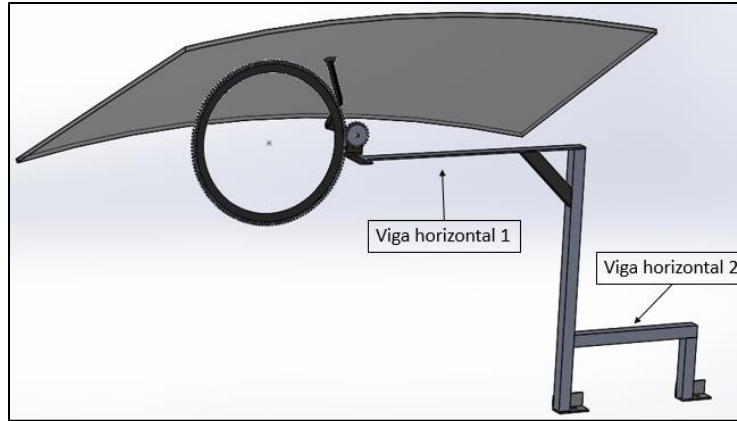
- Descripción:

En un principio se enfocó el objetivo de una manera muy conservadora, siguiendo una línea muy parecida al modelo construido. Se tomó como prioridad el aprovechamiento de material, cumpliendo dentro de lo posible con los otros requisitos también. En las siguientes líneas se describe el modelo en detalle.

Como se puede observar en la siguiente imagen, se pretendía usar un tipo de estructura para el soporte del motor parecida a la anterior, pero mejorando algunas de sus prestaciones.

En primer lugar, la estructura de soporte aun y ser parecida, se diferenciaba en que la estructura se dividía en dos niveles.

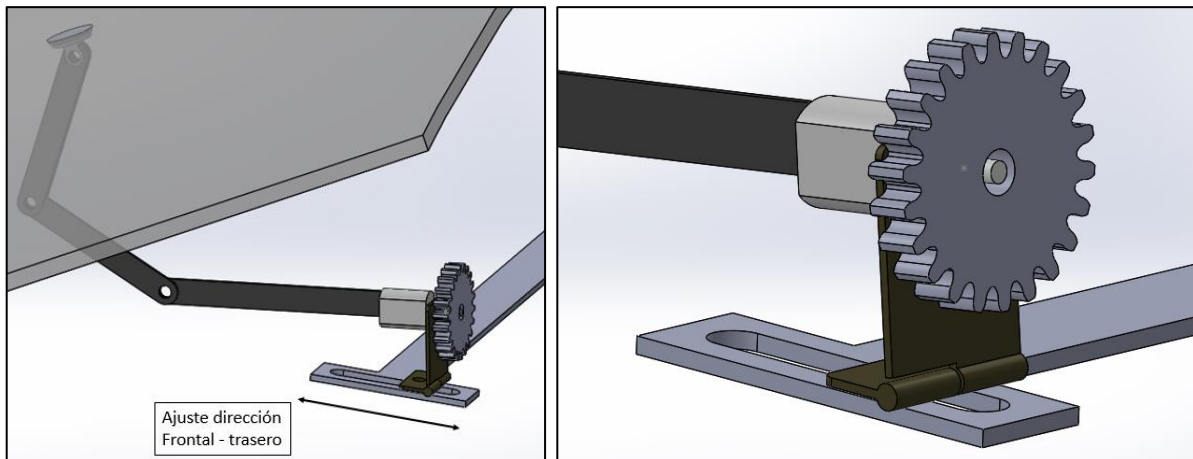
Se creyó interesante seguir utilizando los dos puntos de fijación en el asiento del copiloto, de esta manera el sistema quedaría bien fijado respecto a la dirección lateral del vehículo, pero esta vez se pensó en poner la viga horizontal 2 a una altura inferior al asiento para no invadir la cabina del copiloto.



**Imagen 2.1.1:** modelo 1 vista de vigas horizontales (fuente: diseño propio).

El poster vertical alto iría posicionado al lado izquierdo del copiloto. A la viga horizontal 1 iría el motor acoplado justo al lado del volante, tal como se muestra en la imagen 2.1.1. De esta manera ya no sería necesario el uso de cadena, la cual es la principal causante de los problemas de transmisión del modelo construido anteriormente. Con este tipo de soporte el sistema airbag del copiloto puede funcionar correctamente. La viga horizontal 1 iría posicionada a la altura donde termina el salpicadero del automóvil y empieza el vidrio frontal, para invadir lo menos posible tanto a la visión hacia el exterior del vehículo como al contacto con los aparatos del salpicadero.

Para evitar problemas de alineación como pasaba con el sistema anterior, se pensó también en darle al sistema algunos grados de libertad para poder acabar de ajustarlo una vez montado. Se cree necesario el poder tener márgenes de ajuste por el hecho de que, en el interior del coche, hay muchas irregularidades, sin puntos de referencia claros, eso hace complicado diseñar un modelo a medida exacta. Además, sería interesante que el sistema que se construya pueda adaptarse a otros vehículos, eso hace necesario el permitir ajustes de distancias y ángulos del sistema.

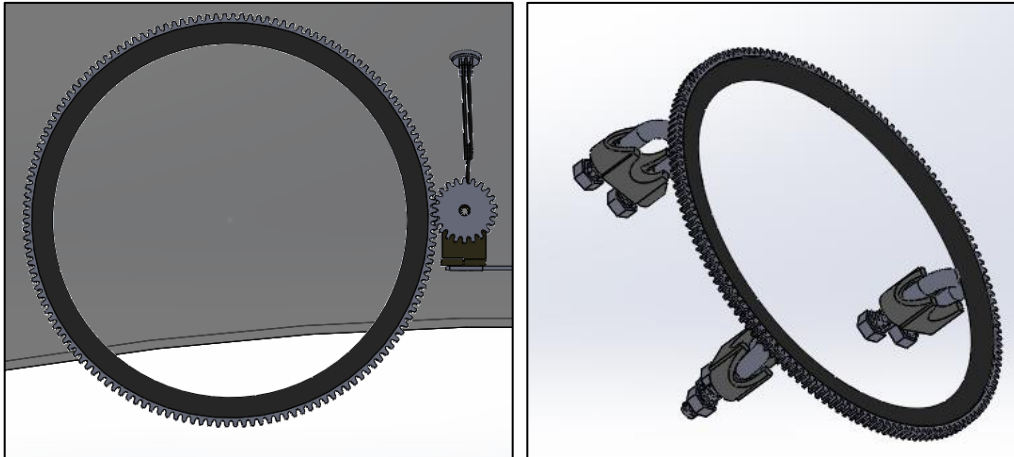


**Imagen 2.1.2:** modelo 1 libertad de ajuste de motor (fuente: diseño propio).

En la imagen 2.1.2, se muestran las medidas tomadas para dar margen de ajuste al ensamblaje. Una ventosa enganchada al vidrio, iría conectada al motor mediante unas barras metálicas ajustables para

poder modificar la inclinación del motor y alinearlo con el volante, además este sistema reduciría las vibraciones que ya se vieron presentes en las pruebas realizadas durante semestres anteriores.

El motor se fijaría a la estructura mencionada inicialmente, mediante una bisagra para permitir ese ajuste de inclinación y distancia en la dirección frontal - trasera del vehículo (la dirección de ajuste está indicada en la imagen 2.1.2).



**Imagen 2.1.3:** modelo 1 acoplamiento al volante (fuente: diseño propio).

Finalmente, la intención era también reutilizar la estructura de acoplamiento al volante, dejarlo vacío por dentro y colocar una correa dentada por la parte exterior de la circunferencia del soporte, como se muestra en las imágenes anteriores, permitiendo así el uso del airbag para la cabina del piloto también.

- Análisis modelo 1

**Tabla 2.1.1:** tabla de análisis del modelo 1

| Ventajas   | Inconvenientes  |
|--|---|
| Los sistemas de seguridad pasivos pueden funcionar correctamente | Estructura compleja y voluminosa  |
| Sistema menos invasivo tanto para piloto como para copiloto      | Podría haber deformaciones y desplazamientos elevados, perjudicando así al funcionamiento del sistema. Ya que hay una gran distancia entre los puntos de fijación de la estructura y el peso a soportar (motor y engrane) |
| Reutilización de material  |   |
| Ajustable a las dimensiones del vehículo                         |   |

- Conclusión:

Se concluye que, aunque la funcionalidad podría llegar a ser correcta y se mejoran algunos aspectos, al haber seguido una línea bastante conservadora con este diseño, las mejoras no son muy significativas. Además, se cree que se puede diseñar una estructura menos compleja y más resistente con mejores prestaciones. Para ello habrá que aplicar grandes cambios a la base del sistema.

## 2. Modelo 2:

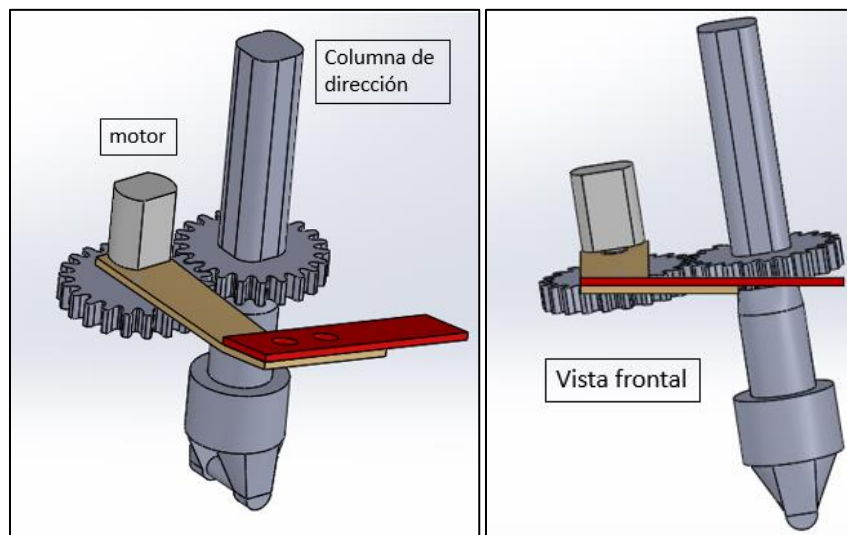
- Descripción:

Para el modelo 2 se abordó el objetivo desde un punto de vista totalmente diferente. La idea era aprovechar que la columna de dirección tenía una parte descubierta. Se estudió esta posibilidad porque había suficiente espacio como para acoplar los engranajes y el motor en esa zona del vehículo.



**Imagen 2.1.4:** modelo 2 columna de dirección y espacio para el sistema (fuente: fotografía propia).

La idea era usar los dos mismos barrenos a los que iba fijado el actuador para los pedales, para acoplar la estructura de control de dirección.



**Imagen 2.1.5:** modelo 2 vista general (fuente: diseño propio).

La pieza roja de la imagen 2.1.5 simula el soporte de los actuadores de los pedales, la marrón sería el soporte del motor para el control de la dirección, este usaría los mismos tornillos que el actuador de los pedales para fijarse al vehículo.



Uno de los mayores problemas de esta estructura se puede observar en la vista frontal de la imagen anterior, la columna de dirección que conecta el eje de las ruedas con el volante viene de la zona central del vehículo y va hasta la zona izquierda donde se encuentra la cabina del piloto, por lo que esta está inclinada. Construir un soporte que alinee de manera perfecta el motor con la columna comporta gran complejidad, ya que no hay una referencia desde donde medir esa inclinación que tiene la columna. Además, para agregar una rueda dentada a la columna de dirección, se requeriría editar la columna permanentemente o al menos desmontarla.

- Análisis modelo 2

**Tabla 2.1.2:** tabla de análisis del modelo 2

| Ventajas  | Inconvenientes  |
|---|---|
| Los sistemas de seguridad pasiva pueden funcionar correctamente | Estructura muy compleja: a la hora de dimensionar correctamente                         |
| Sistema no invasivo tanto para piloto como para copiloto        | Montaje muy complejo, hay que desmontar la columna de dirección para poner el engranaje |
| Resistente, pequeño y simple en cuanto a la construcción        | Posiblemente comportaría la modificación permanente de la columna de dirección          |

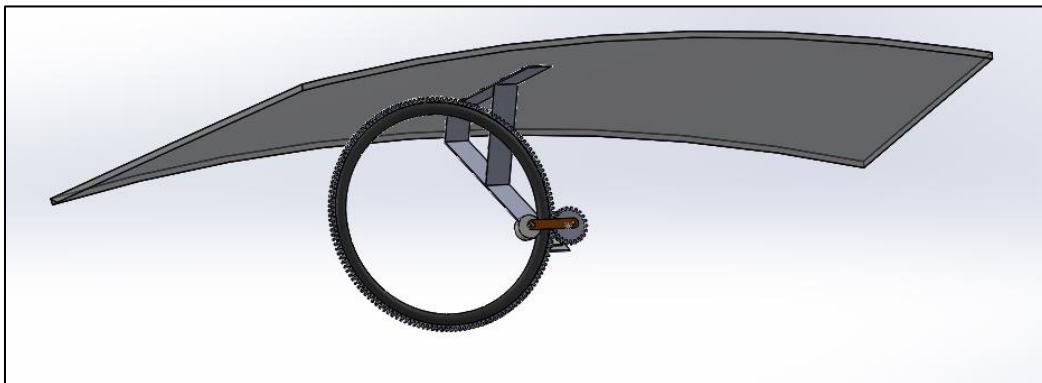
- Conclusión:

Se concluye que funcionaría correctamente, además de cumplir con la mayoría de los requisitos satisfactoriamente. El problema es que acotar medidas de diseño con exactitud conlleva gran dificultad, y lo mismo ocurre con la construcción y montaje de algunas partes. Podría ser una buena solución si se tuviera tiempo y recursos necesarios. Se decidió buscar una alternativa más simple de diseñar y construir, aunque algunas de las prestaciones de los futuros diseños, no fueran tan buenas como en el modelo 2.

### 3. **Modelo 3:**

- Descripción:

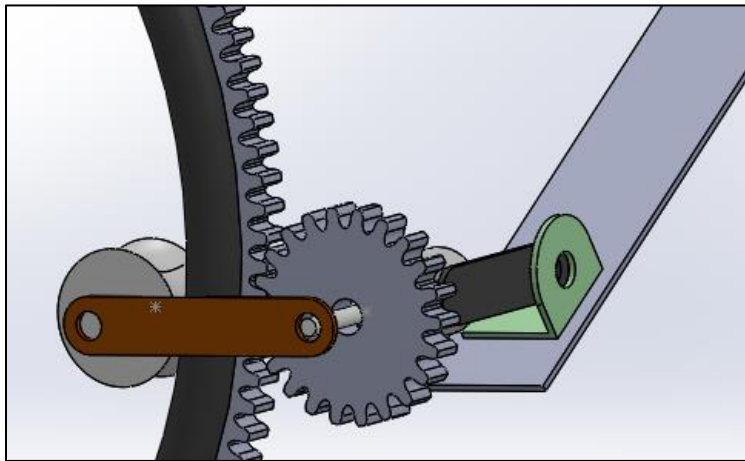
Una vez descartado el modelo 2 por su complejidad, se volvió a la opción de controlar la dirección mediante un actuador acoplado directamente al volante. En este caso la idea fue que todo fuera sujetado al vidrio o apoyado encima del salpicadero del vehículo.



**Imagen 2.1.6:** modelo 3 vista general (fuente: diseño propio).

En la imagen anterior se muestra un diseño donde se pretende mostrar el concepto general del modelo, ya que este sería un modelo totalmente nuevo no se entró en detalles aún. Básicamente consiste en una estructura metálica enganchada al vidrio frontal mediante ventosas, que sujetaría el motor a la altura del volante. Esta estructura, se pretende que vaya simplemente apoyada verticalmente sobre el salpicadero del vehículo, de esta manera se reduciría vibraciones y balanceos.

Esta estructura tenía el inconveniente de que no soporta esfuerzos en la dirección lateral del automóvil, eso podría comportar que los engranes se separaran. Para evitarlo se ha optado por incorporar un rodillo por la parte interior del acoplamiento al volante. Este se movería libremente, únicamente impediría el desengrane de las ruedas dentadas.



**Imagen 2.1.7:** modelo 3 sistema con rodillo interior (fuente: diseño propio).

De esta manera en vez de procurar mantener muy fija la estructura para minimizar vibraciones, solo se busca mantener bien acoplados los engranajes.

- Análisis modelo 3

**Tabla 2.1.3:** tabla de análisis del modelo 3

| Ventajas  | Inconvenientes  |
|---|---|
| Los sistemas de seguridad pasiva pueden funcionar correctamente | Uso de ventosas para su fijación, no es tan firme como atornillarlo al automóvil                |
| Resulta mínimamente invasivo para el conductor                  | Obstaculiza levemente la visión del conductor   |
| Ajustable a las dimensiones del vehículo                        | No es seguro tener un elemento de ese tamaño en la zona central del vidrio frontal del vehículo |

- Conclusión:

La idea que se presenta para este modelo es interesante y su funcionalidad podría ser correcta. Dentro de los inconvenientes si se profundiza el estudio se pueden llegar a minimizar lo suficiente, y las ventajas que presenta en comparación con los modelos anteriores son significativas. A continuación, se profundizará en el estudio y desarrollo del modelo 3 para el diseño final.

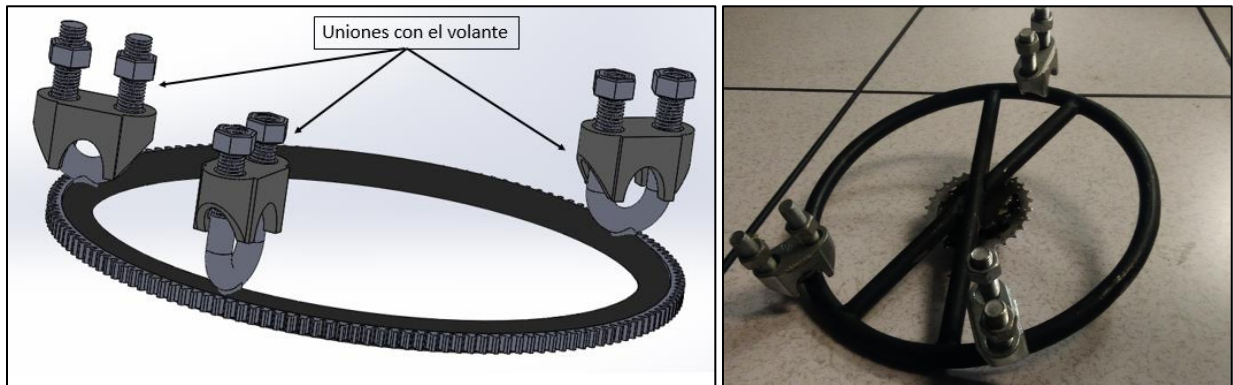
#### 4. Modelo 3.1:

Después de intentar abordar el proyecto desde diferentes puntos de sujeción al vehículo, se concluyó que la opción más interesante sería mediante algún tipo de fijación usando el vidrio frontal del automóvil, por lo que la evolución de los diseños de ahora en adelante parten de la misma base que el modelo 3.

- Descripción:

En un principio se pensó en reutilizar el acoplamiento del volante, simplemente enganchar algún tipo de correa dentada alrededor para obtener el engranaje del volante.

Esa idea conllevaba varios inconvenientes. En primer lugar, no era fácil encontrar una manera fiable y duradera de enganchar la correa alrededor del círculo de hierro. En segundo lugar, las soldaduras de las piezas que servían de unión con el volante impedían el uso del rodillo, ya que son soldaduras gruesas. El rodillo es algo totalmente necesario para el correcto funcionamiento de este sistema.



**Imagen 2.1.8:** modelo 3.1 uniones con volante (fuente: propio).

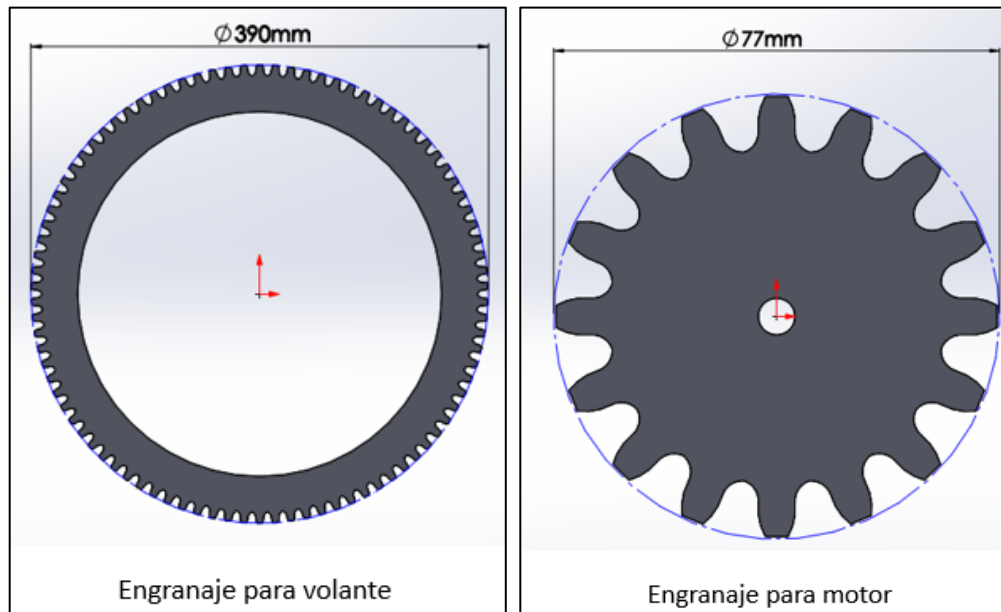
Por lo que la primera medida de corrección que se llevó a cabo fue la de rediseñar esta pieza. En la reunión de equipo del día 19/01/2018, se decidió que lo más viable sería comprar una plancha de aluminio con temple (dimensiones: 40 x 40 x 1 cm), y mediante el uso de CNC construir un diseño propio a medida, todo de una sola pieza.



**Imagen 2.1.9:** modelo 3.1 plancha para construir engranajes en CNC (fuente: fotografía propia).

En los siguientes diseños se muestran los engranajes que irían acoplados al volante y al motor, y que se construirán mediante el uso de CNC, con la plancha metálica de la imagen 2.1.9.

Una vez construido el engranaje del volante con la plancha metálica mostrada anteriormente, se podría construir el engranaje de motor con el material sobrante.



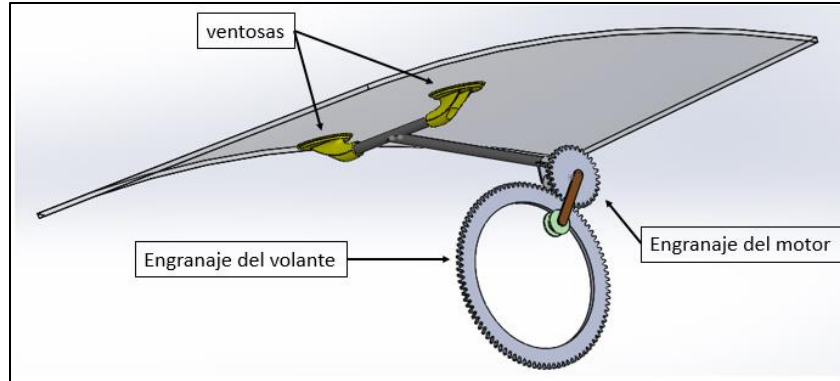
**Imagen 2.1.10:** modelo 3.1 diseño de los engranajes (fuente: diseño propio).

En cuanto a las ventosas, las típicamente usadas para acoplamiento de teléfonos, cámaras o aparatos GPS no eran adecuadas en este caso. Las fuerzas y momentos a soportar son de magnitud demasiado elevada. Por ello se empezó a estudiar la opción de utilizar cargueros de vidrio de ventosa, los más simples están hechos para soportar hasta 30kg de masa, cifra mayor de lo que se espera llegar a generar, si juntamos pesos y esfuerzos del sistema a diseñar. El equipo a cargo del proyecto decidió comprar un carguero con doble copa de succión, capaz de soportar hasta 70kg.



**Imagen 2.1.11:** modelo 3.1 ventosa para sujeción del sistema (fuente: fotografía propia)

La primera idea que se presentó para este tipo de ventosa, fue cortarla por la mitad del mango e introducir cada ventosa a una barra metálica, por la parte del mango. Esta barra iría soldada a otra barra donde se anclaría el motor, formando este conjunto la estructura principal del soporte. En la siguiente imagen se muestra lo descrito hasta ahora.



**Imagen 2.1.12:** modelo 3.1 presentación general del modelo (fuente: diseño propio).

- Análisis modelo 3.1

**Tabla 2.1.4:** Tabla de análisis del modelo 3.1

| Ventajas   | Inconvenientes   |
|--|--|
| Los sistemas de seguridad pasiva pueden funcionar correctamente                                    | Uso de ventosas para su fijación, no es tan firme como atornillarlo al automóvil, pero los cargueros se considerarán suficientemente fiables |
| Resulta poco invasivo para los integrantes del vehículo en comparación con los modelos anteriores. | Obstaculiza levemente la visión del conductor  |
| Ajustable a las dimensiones del vehículo   | En cuanto a seguridad, hay partes del sistema posicionadas de manera arriesgada para los integrantes del vehículo en caso de accidente       |

- Conclusión:

En la reunión de equipo del día 26/01/2018, se debatió sobre el diseño resultado hasta la fecha, se concluyó que su funcionalidad podría ser correcta. Iba en la línea de lo esperado, sin embargo, seguía siendo altamente invasivo visualmente, y la idea de tener una barra de metal en la dirección frontal del vehículo en la zona central de este, dejaba mucho que desear en cuanto a seguridad. Por lo que después de analizar la situación, se buscó modificar el modelo manteniendo las ventajas de este diseño, pero modificando lo demás.

## 5. Modelo 3.2:

La conclusión del modelo 3.1 ayudo a realizar un gran cambio y paso hacia adelante para el concepto del diseño que se buscaba.

Des de un inicio, ya se descartó el uso de cadena para la transmisión del movimiento. Pero hasta ahora el único planteamiento que se había hecho, era de colocar el motor próximo al volante para simplificar al máximo la transmisión. Como consecuencia las estructuras de soporte seguían siendo de tamaños relativamente grandes y complejas, ya que el motor es pesado y se necesita una fijación de la estructura fuerte y sólida. En las siguientes líneas se procederá a describir una nueva idea para optimizar el diseño.

- Descripción:

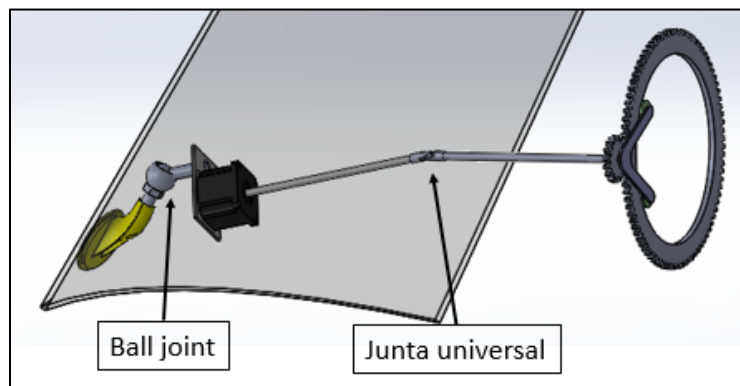
La idea que se sugirió fue que, en vez de acercar el motor lo máximo posible al volante, mantener el motor cerca de su zona de fijación y simplemente alargar el eje del motor para alcanzar el plano del volante.

Este concepto simplifica mucho la estructura de soporte del motor y en cambio no complica mucho el eje de transmisión del movimiento.

La idea sigue siendo fijar el motor mediante una ventosa, aunque esta vez la ventosa se encontrará posicionada en la zona inferior izquierda del vidrio frontal del vehículo, y el motor junto a ella, esto comporta una reducción del impacto visual considerable, además de mejorar la seguridad.

Además, entraron en juego dos posibles componentes que podrían ayudar al sistema a seguir siendo ajustable.

En un principio para darle margen de ajuste se pensó la opción de incorporar a la estructura de soporte un “ball joint” y también una junta universal en el eje del motor. Estos componentes no reducen la eficiencia o calidad de la transmisión, en cambio dan posibilidad de adaptarse a pequeñas variaciones de ángulo y distancia durante el funcionamiento del sistema.

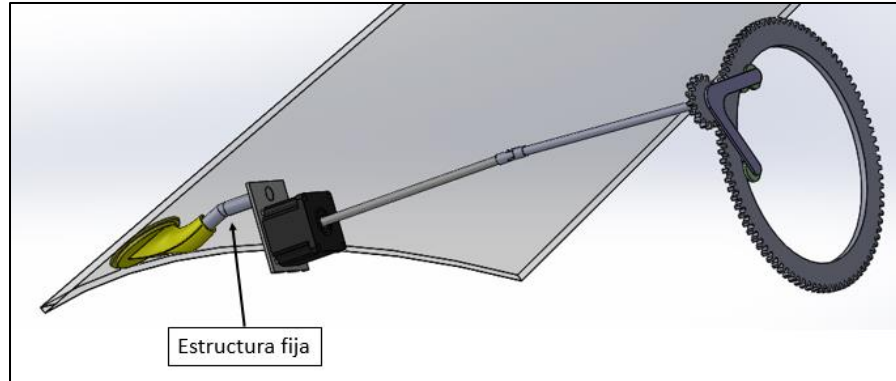


**Imagen 2.1.13:** modelo 3.2 presentación general del sistema (fuente: diseño propio).

En este caso como se mencionó anteriormente, se decidió poner toda la estructura en la parte izquierda del vehículo en vez de ponerlo en la zona central, alejándolo así lo máximo posible de los integrantes del automóvil. Mediante el uso del “ball joint” se podría ajustar el ángulo de la placa que soporta el motor. Como se puede observar, el sistema sería mucho más simple y menos voluminoso. La junta permitiría también el ajuste del ángulo para asegurar que los dos engranajes estén en el mismo plano. Estas nuevas incorporaciones aun y proveer de grandes ventajas al diseño, tienen el inconveniente de que hacen perder firmeza a la unión entre engranes, en especial la junta universal. Por ello se pensó también en modificar el sistema de rodillos, un acoplamiento de dos rodillos en vez de uno, eso permite controlar no solo la separación entre los ejes de los engranajes, sino también fijarlos verticalmente entre ellos más consistentemente.

Tras una evaluación del nuevo diseño, se concluye que el uso de estos dos nuevos componentes es adecuado, pero a la vez innecesario añadirlos a los dos. El hecho de poner los dos componentes añade complejidad, pero poca ayuda extra, por lo que se analizó cuál de los dos pueda aportar más con la menor inconveniencia.





**Imagen 2.1.14:** modelo 3.2 presentación del diseño sin “ball joint” (fuente: diseño propio).

Con solo uno de esos dos componentes mencionados, se tendrá una mayor consistencia, manteniendo la capacidad ajustable y reduciendo también el coste económico de su construcción. Durante el análisis de resultados se podría reconsiderar la reincorporación del componente que se descarte. En la imagen anterior se muestra la opción de estructura fija con junta universal, descartando por tanto el “ball joint”.

- Análisis modelo 3.2

**Tabla 2.1.5:** Tabla de análisis del modelo 3.2

| Ventajas   | Inconvenientes  |
|--|---|
| Los sistemas de seguridad pueden funcionar correctamente, además el sistema está menos expuesto a los integrantes del vehículo | Uso de ventosas para su fijación, no es tan fiable como atornillarlo al automóvil, pero los cargueros se considerarán suficientemente fiables |
| Resulta mínimamente invasivo para el conductor en comparación a los modelos fijados mediante el vidrio frontal.                | Obstaculiza levemente la visión del conductor   |
| Ajustable a las dimensiones del vehículo   |   |
| Posicionado en una zona muy apartada y de desuso del vehículo.   |   |
| Más simple y robusto, y por tanto más firme y resistente en comparación con modelos anteriores.                                |   |

- Conclusión:

Ya el concepto general está definido y aceptado por todo el equipo, su funcionalidad se espera que sea correcta. Algunos de los detalles principales han sido estudiados, y se les ha buscado posible solución teórica, de manera que la lista de ventajas ha aumentado y la de inconvenientes ha disminuido. A partir de ahora se procederá a iniciar la construcción del modelo para observar el comportamiento real de todas las medidas tomadas. En el apartado de diseño final del modelo seleccionado se va a proseguir a concretar los detalles de la construcción del sistema.

## 2.2. Selección del motor eléctrico

Antes de empezar con la construcción del modelo, se consideró necesario elegir y obtener el motor eléctrico que se iba a utilizar. Ya que la estructura a construir dependería directamente del peso y las dimensiones de este. Para la selección del motor hubo dos parámetros que se tuvieron en cuenta.

- Torque:

En primer lugar, se calculó el esfuerzo que se debe hacer para mover el volante, ese es uno de los parámetros principales para seleccionar el motor.

Se apoyó a uno de los brazos del volante un seguido de pesos hasta que este se moviera.

El resultado fue una masa de aproximadamente 2.1 kg, con un brazo de palanca de unos 15 cm, por lo que el torque mínimo necesario para mover el volante sería de:

$$T = F \times d = 2.1 \times 9.81 \times 0.15 = 3.12 \text{ Nm}$$

Para la selección del motor entonces se deberá escoger uno que pueda generar ese torque como mínimo, es recomendable dejar un pequeño margen de seguridad por el torque extra que se necesite por fricción entre engranajes, y la fricción que pueda producir el sistema de rodillos.

Por todo ello se buscarían motores capaces de generar un torque de entre 3.5 y 4 Nm.

- Velocidad de rotación:

En segundo lugar, se debe tener en cuenta también la velocidad que se necesita para girar el volante. Si se considera que una persona realiza una vuelta de volante en un segundo, entonces se necesitan al menos velocidades de 60 rpm. No obstante, hay que tener en cuenta la relación de engranajes, en este caso es de 5.6 (cada 5.6 vueltas de motor se realiza una de volante), eso comporta que la velocidad que se precisa realmente es de  $5.6 \times 60 = 340$  rpm aproximadamente.

En caso de no encontrar un motor económicamente factible con estas características, la primera medida que se puede tomar es modificar el diseño de los engranajes de tal forma que se reduzca la relación de engrane reduciendo así la velocidad de rotación que se necesita.

- Motor seleccionado:

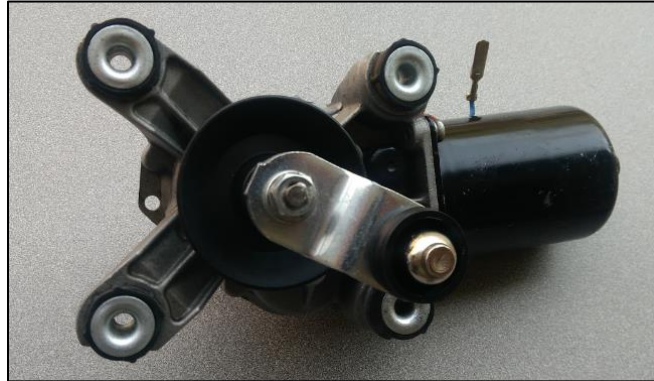
La propuesta que se hizo de motor fue un motor de parabrisas de vehículo. Es un motor directo, no a pasos como el del proyecto anterior. El motivo por el que se seleccionó ese es su viabilidad económica y el fácil acceso a ellos, además de que no se creyó necesario tener la precisión que se tiene en un motor a pasos. Ya que esta precisión suele conllevar una velocidad de rotación menor, hecho inconveniente para el sistema que se precisa.

El día 01/02/2018 finalmente, se compró un motor de limpiaparabrisas, con un torque de 4Nm y una velocidad de rotación de 100 rpm.

En un principio se diseñaron unos engranajes que tenían una relación de 5.6. Sin embargo, para conseguir girar una vuelta de volante en uno o dos segundos (velocidad que simularía el giro realizado por un usuario) con esa relación de transmisión, se necesitaría una velocidad de rotación mucho mayor que 100

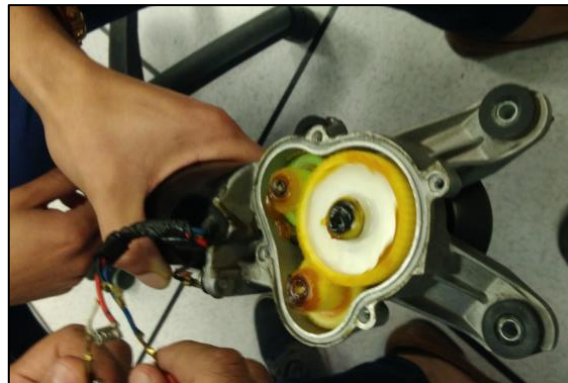
rpm. Para solucionar ese problema se decidió modificar el engranaje del motor, hacerlo de 24 dientes en vez de 16, reduciendo así la relación de transmisión de 5.6 a 3.8.

Con una relación de transmisión de 5.6 y una velocidad de motor de 100RPM, realizar una vuelta de volante requería un tiempo de 3.4 segundos. Con la nueva relación se necesita 2.2 segundos, se considerará un tiempo suficientemente rápido para construir un primer prototipo del sistema y realizar rutas a baja velocidad.



**Imagen 2.2.1:** motor seleccionado (fuente: fotografía propia).

En cuanto se obtuvo el motor se realizaron pruebas de funcionamiento y velocidad, la conclusión fue que con el voltaje adecuado se llegará a los requerimientos de velocidad y torque para el sistema que se ocupa en este proyecto.



**Imagen 2.2.2:** pruebas de funcionamiento del motor seleccionado (fuente: fotografía propia).

Todo lo descrito se hizo al inicio del proyecto, siguiendo el ejemplo de los informes de semestres anteriores, más adelante se descubrió que esto no era así realmente. El motor necesario era mucho menor de lo calculado. El motivo queda explicado en el último punto del apartado de trabajo a futuro de este reporte.

### 2.3. Diseño final del modelo seleccionado

En el apartado 2.1. se presentaron los modelos propuestos, estos solo muestran una idea general del concepto que se buscaba con cada modelo. En las siguientes líneas se va a proceder a describir detalladamente el diseño final del sistema y su construcción, partiendo como base el modelo 3.2.

#### Proceso de desarrollo del diseño final:

- Sistema de ventosas:

Al probar la ventosa que se compró, mencionada anteriormente, se llegó a un seguido de conclusiones a tener en cuenta.

En primer lugar, a causa de la curvatura del vidrio frontal las ventosas no se pueden pegar, ya que están hechas para superficies planas. Por otro lado, la curvatura no afecta si solo hay una ventosa, puede pegarse al vidrio tolerando la curvatura. El problema es que una ventosa se molesta a la otra. Eso significa que de algún modo se tendrá que editar ese componente para que ambas ventosas se puedan pegar.

Además, el hecho de que el sistema de doble ventosa soporte hasta 70kg, es debido a que una ventosa se apoya en la otra, al haber dos ventosas pegadas estas trabajan y sufren esfuerzos en posiciones de trabajo óptimo para la ventosa. Si se decidiera trabajar con una sola ventosa la carga que puede resistir se reduciría a más de la mitad, ya que los esfuerzos que se generan sobre la ventosa pueden modificar su posición de trabajo y desprenderse en casos más extremos. Cuando esta una sola trabajando no tiene el apoyo de la otra ventosa, de manera que ambas se mantengan en posición optima de trabajo.

Se decidió entonces cortar el mango por la mitad, de esta manera las ventosas a la hora de pegarse serán independientes y no se molestarán la una a la otra. Seguidamente, se les atornillara un perno a través de la zona del mango para poder conectar las ventosas de nuevo, pero esta vez ya con el ángulo necesario para poder acomodarse correctamente al vidrio curvado.

Además, se le añadirá un refuerzo de aluminio en el interior de la zona de mango para fortificar la estructura y que los esfuerzos que se aplicarán, no se apoyen única y directamente sobre el plástico por el que está formado el mango de la ventosa.



**Imagen 2.3.1:** materiales para la edición de la ventosa (fuente: fotografía propia).

En la imagen anterior se muestra la ventosa seleccionada y el cilindro de aluminio que se utilizará para fortificar la estructura del mango, este cilindro tendrá que ser mecanizado en un torno. En primer lugar, se reducirá el diámetro hasta que haya un ajuste con apriete entre la ventosa y el aluminio. Una vez alcanzado el diámetro requerido, también se realizará un moleteado a la superficie del aluminio, para conseguir una mayor fricción entre ambas superficies. Finalmente, se pegará al mango de la ventosa con resina epoxi para asegurar que ambas cosas quedan bien fijas entre ellas.



**Imagen 2.3.2:** estructura para la fortificación de las ventosas (fuente: fotografía propia).

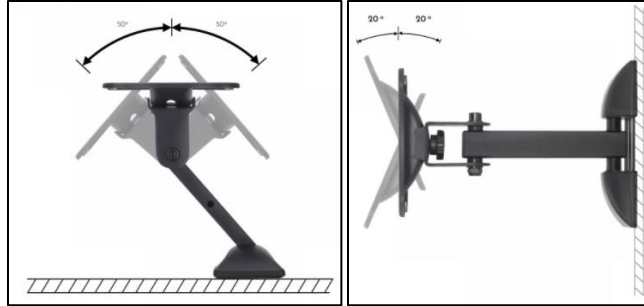
- Sistema final de fijación del motor:

Finalmente, para la estructura de soporte que unirá las ventosas con el motor, se descartó el uso del “ball joint”, ya que hay formas de sujeción con prestaciones similares más viables económicamente, además el tiempo necesario para recibir esa pieza era demasiado elevado. Por otra parte, el uso de una junta universal también quedó descartado, ya que la pérdida de firmeza que comporta el uso de ese componente podría ocasionar problemas en la transmisión.

La solución a la que se recurrió finalmente se describe a continuación:

Para conectar las ventosas con el motor, se decidió utilizar un soporte de pantalla de pared. Se escogió un soporte pequeño, que aguanta hasta 10kg, suficiente para el sistema que se ocupa. Este además tiene varios grados de libertad para editar ángulos y distancias. Algo perfecto y necesario para poder alinear los engranajes correctamente.





**Imagen 2.3.3:** soporte seleccionado para el motor (fuente: Steren <http://www.steren.com.mx>).

Una vez conseguido el soporte y editadas las ventosas se acoplo todo el conjunto mediante el uso de rondanas, tuercas y roscas. El día 16/02/2018 se hizo un primer intento de acoplamiento de la estructura al vehículo. Se llegó a la conclusión de que el hecho de tener un brazo de 22 cm en la estructura de soporte de televisión como se muestra en la imagen anterior, ayudará a tener una transmisión más firme y compacta, ya que con un eje en el motor de menos 10cm será suficiente para engranar las dos ruedas dentadas.



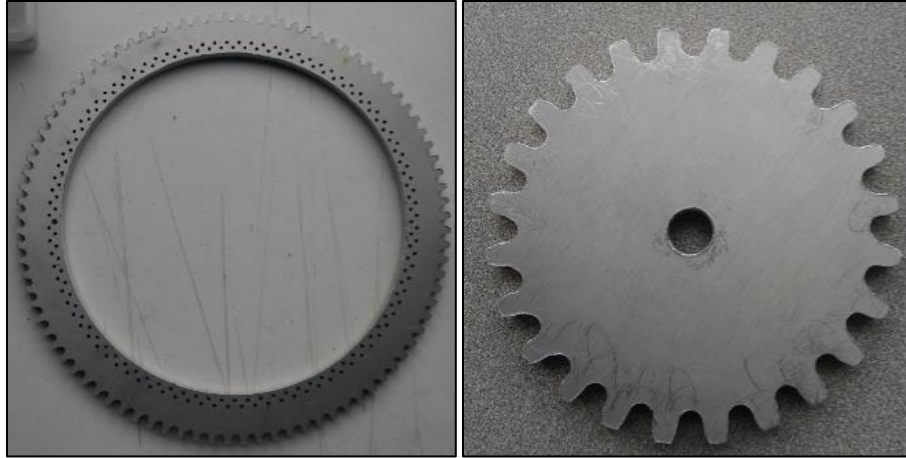
**Imagen 2.3.4:** conjunto de soporte montado (fuente: fotografía propia)

En la imagen anterior se muestra el conjunto de soporte montado por completo. Incluida la construcción final de las ventosas, con el cilindro de aluminio pegado en su interior. Para la unión entre las ventosas y la estructura de soporte se utilizaron los pasadores mencionados anteriormente, estos atraviesan tanto el plástico como el cilindro de aluminio. También se puede observar el uso de unos tornillos de esparrago largo para fijar el motor eléctrico a la estructura de soporte.

- Diseño final de los engranajes:

Como se mencionó anteriormente para la construcción de los engranajes se utilizó la fresadora CNC en los laboratorios de la universidad. Se mecanizó una placa metálica a partir de la cual se generaron las ruedas dentadas.





Rueda dentada volante

Rueda dentada motor

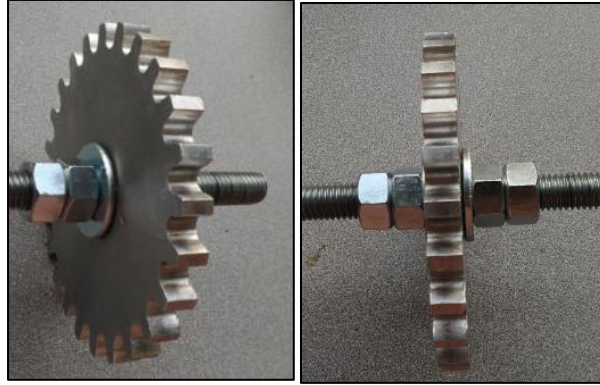
**Imagen 2.3.5:** engranajes contruidos mediante CNC (fuente: fotografía propia).

En las siguientes líneas se procederá a describir el porqué de cada detalle de los diseños de las ruedas dentadas. En primer lugar, como se puede observar en la imagen anterior se le realizaron barrenos alrededor del diámetro interior a la rueda dentada que ira acoplada al volante, 180 perforaciones equidistantes. Se utilizará una sonda de luz que detectará cada vez que se pase por encima de uno de ellos. Este será el sistema que se usará para saber la posición exacta del volante. Al haber 180 barrenos equidistantes la precisión de este sistema será de 2 grados, precisión que se consideró suficiente para el primer prototipo. Uno de estos barrenos tiene un diámetro superior que los demás, eso se hizo con el fin de tener una perforación de referencia, que podría ser la perforación que marque la posición del volante totalmente recta o que marque la posición máxima de giro hacia alguno de los dos lados. Los detalles del sistema de referencia a utilizar se estudiarán en otro proyecto de programación del equipo.

Por otro lado, al engranaje para el motor, en el barreno del centro se le hizo una rosca con un machuelo para poderlo roscarlo en un tornillo sin fin. Para inmovilizarlo una vez roscado, se utilizará un sistema de doble tuerca o tuerca de seguridad en ambos lados de este.



**Imagen 2.3.6:** rueda dentada motor, generación de la rosca central (fuente: fotografía propia).



**Imagen 2.3.7:** rueda dentada motor, fijación con doble tuerca (fuente: fotografía propia).

El hecho de usar un tornillo sin fin para acoplar la rueda dentada en el motor, dará margen de ajuste de distancia en la dirección frontal – trasera del vehículo.

Finalmente, para la rueda dentada del volante, se tuvo que pensar en la manera de acoplarlo a la dirección del vehículo.

los tornillos que se usaron para el modelo construido en semestres anteriores se consideraron excesivos para el sistema que se genera en este reporte. En primer lugar, al ser un engrane hecho de aluminio es mucho menos pesado que la rueda maciza de hierro con el juego de piñones acoplado. Además, hacer uniones por soldadura entre aluminio y acero no es recomendable.



**Imagen 2.3.8:** sistema sujeción modelo anterior (fuente: fotografía propia).

Por lo mencionado en el párrafo anterior, se decidió usar un conjunto de placas metálicas y tornillos para sujetarlo des de tres puntos distintos del volante. Este conjunto ha sido probado, y se ha concluido que, si se aprietan los tornillos lo suficiente, la fricción generada entre las placas y el volante impide que el engrane resbale cuando se le aplica la fuerza de rotación para girar el volante. De modo que su funcionalidad se consideró correcta.



**Imagen 2.3.9:** rueda dentada para volante + sistema de sujeción (fuente: fotografía propia).

En la imagen anterior se muestra el engrane de volante con el sistema de sujeción construido. El tornillo largo que conecta el conjunto de placas metálicas con el engrane va roscado al engrane, se generaron cuerdas en las perforaciones del engrane mediante un machuelo, de este modo se puede regular la distancia a la que se desea el conjunto de placas respecto al engrane.

A continuación, se muestra también el sistema de engranaje construido y acoplado al automóvil.



**Imagen 2.3.10:** sistema de engranajes acoplado (fuente: fotografía propia).

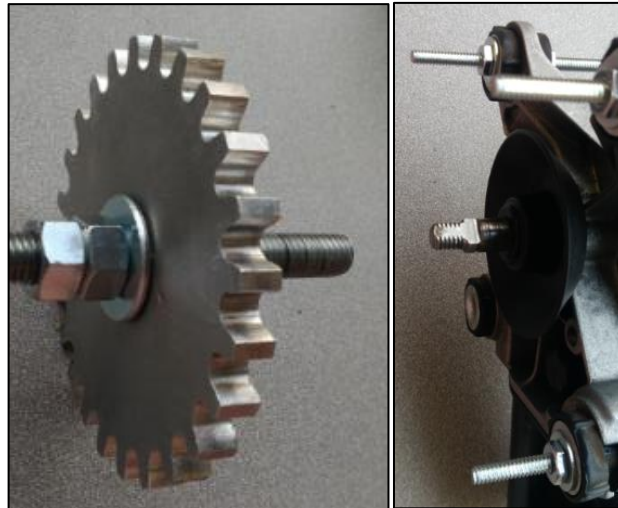
Se tomaron las medidas correspondientes antes de proceder a realizar la construcción del sistema de sujeción del engrane, con la intención de conseguir tener el engrane de volante lo más centrado posible respecto al propio volante.

- Eje del motor:

En este apartado se va a proceder a describir cómo se va a unir el eje del motor con el tornillo sinfín que sostiene la rueda dentada de motor.

La correcta construcción de esta parte del sistema es de gran importancia, es necesaria una casi perfecta alineación del eje para que la transmisión sea correcta, y que las ruedas dentadas se desgasten lo menos posible.

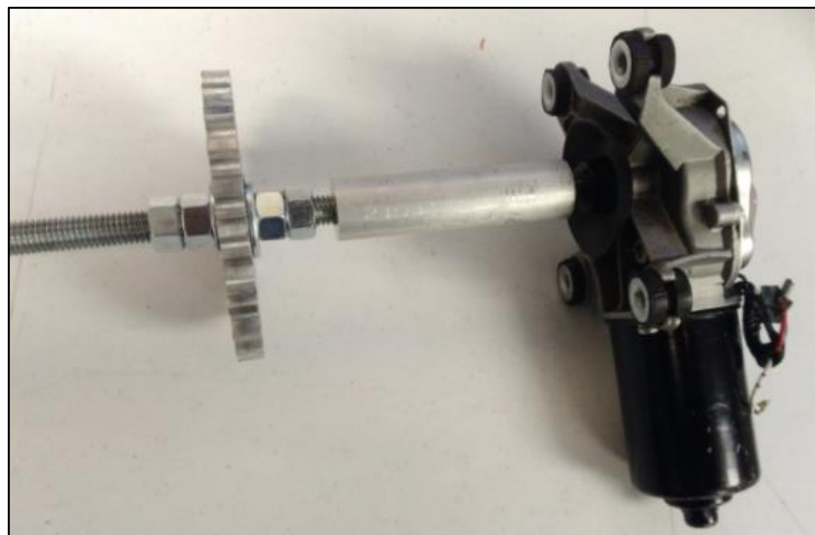
En primer lugar, se hizo un estudio de la situación. Ambos componentes a unir tienen una rosca en sus respectivos ejes.



**Imagen 2.3.11:** ejes a unir (fuente: fotografía propia)

La idea planteada fue aprovechar las cuerdas de los ejes, ya que facilitaría el mantener los ejes bien alineados. Para ello, se utilizó un cilindro de aluminio de una pulgada de diámetro.

En primer lugar, se procedió a realizar el careado de las bases de tal manera que estas quedaran paralelas entre sí. Posteriormente, se realizaron unas perforaciones en dichas bases de tamaño acorde con el diámetro de cada eje. Y con un machuelo se generó la cuerda para la rosca correspondiente. De esta manera se puede conseguir unir fácilmente dos ejes roscados de distinto diámetro con una sola pieza.



**Imagen 2.3.12:** eje de motor unido y completo (fuente: fotografía propia)

En la imagen anterior se muestra todos los componentes del eje motor unidos mediante roscas. Este componente deberá resistir los esfuerzos de torsión que se generarán con el giro y transmisión de movimiento entre engranajes, por lo que se tuvo que estudiar una manera de evitar que los ejes se desenrosquen. Además, en los anexos está demostrado matemáticamente la capacidad del aluminio de resistir este tipo de esfuerzo en las condiciones que se ocupan en este proyecto.

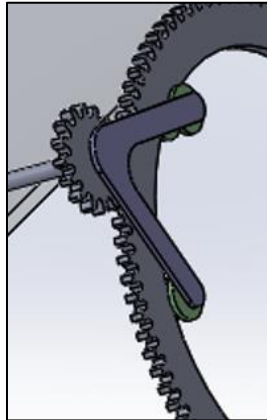
Para evitar el desenroscado de las piezas y por tanto la correcta transmisión del movimiento giratorio. Se plantearon diferentes posibilidades:

- Poner una venda en los espárragos de cada eje de manera que cuando se rosque al cilindro de aluminio quede con un ajuste con apriete suficiente para resistir el esfuerzo de torsión.
- Aplicar resina epoxi para metales en la rosca, de manera que una vez roscado quede inmovilizado y ya no se pueda desenroscar.
- Realizar una perforación que atravesase todo el conjunto para poner un pasador que inmovilice la rosca.

Se decidirá cuál es el sistema de fijación del eje más adecuado una vez se hayan hecho las pruebas y se estén analizando los resultados.

- Sistema de rodillos:

Para el sistema de rodillos en el planteamiento inicial solo se presentó un concepto en que una única pieza sostenía unos rodillos para mantener los engranes juntos, tal y como se muestra en la siguiente imagen del diseño 3D planteado al inicio del proyecto:



**Imagen 2.3.13:** planteamiento inicial del sistema de rodillos (fuente: diseño propio)

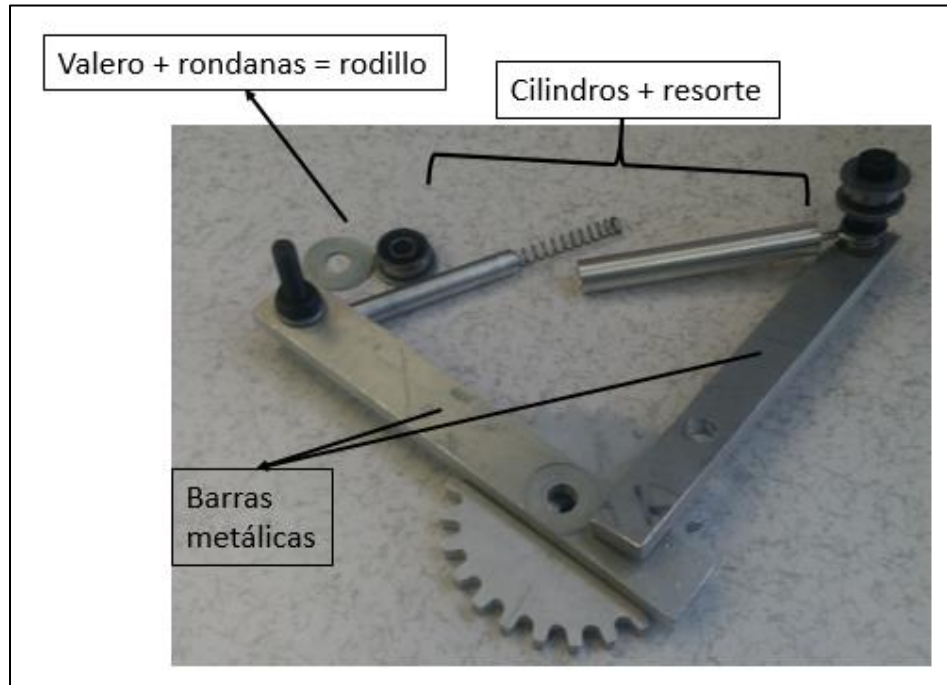
En un principio durante el diseño de nuevos modelos, se planteó el concepto del sistema de rodillos mostrando la idea general, pero estaba incompleto. Si se usara una única pieza para sostener ambos rodillos, tal y como se muestra en la imagen anterior, estos no ejercerían ningún esfuerzo para mantener los engranes unidos. Fue necesario entonces estudiar la manera de tener una fuerza constante, pero no muy elevada para no dañar los dientes de los engranes, que mantuviera las ruedas dentadas unidas. Con ese objetivo se construyó un pequeño sistema con un resorte en su interior.

En primer lugar, cada rodillo va conectado a una barra metálica independiente, estas barras están unidas por un lado por el eje de motor y por el otro por un sencillo pero eficaz conjunto de cilindros que tienen

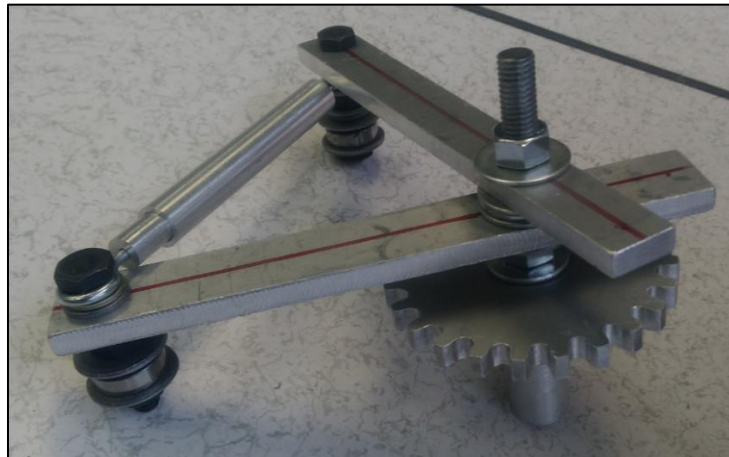


un resorte trabajando a compresión en su interior. El trabajo a compresión de este resorte genera una pequeña fuerza que mantiene los engranes unidos, cumpliendo el objetivo deseado. Estos cilindros que sostienen el resorte van unidos al eje de los rodillos mediante un tornillo con cabezal de gancho.

Para la función de rodillo se han utilizado unos valeros y estos tienen unas rondanas junto a ellos para que no se salgan del diámetro interior del engrane de volante, el cual se usa como rail. En las siguientes imágenes se muestran todos los componentes del sistema de rodillos construidos.



**Imagen 2.3.14:** componentes del sistema de rodillos (fuente: fotografía propia)

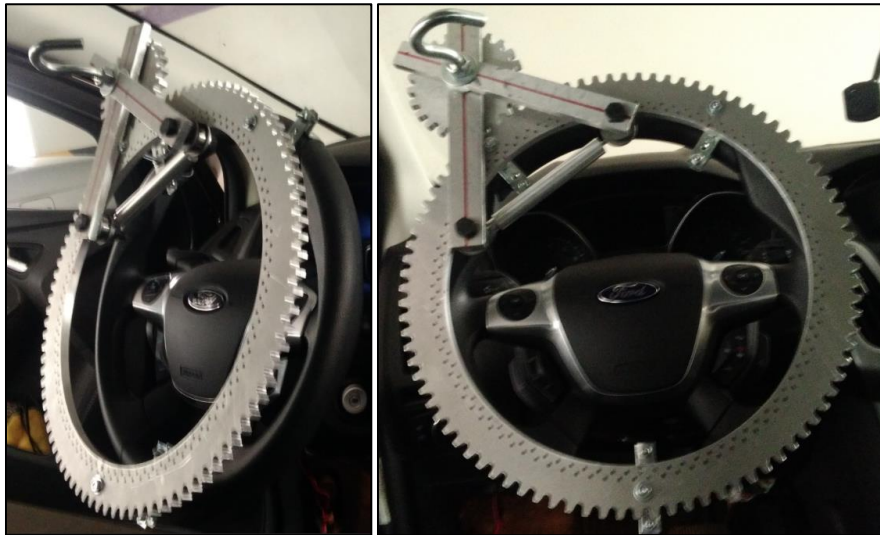


**Imagen 2.3.15:** sistema de rodillos montado (fuente: fotografía propia)

En la siguiente imagen se muestra los engranes acoplados al vehículo, junto con el sistema de rodillos que los mantiene unidos. Durante la instalación del sistema se puede apreciar como el resorte se comprime ligeramente y por tanto genera la pequeña fuerza deseada, funcionando así correctamente. En la foto



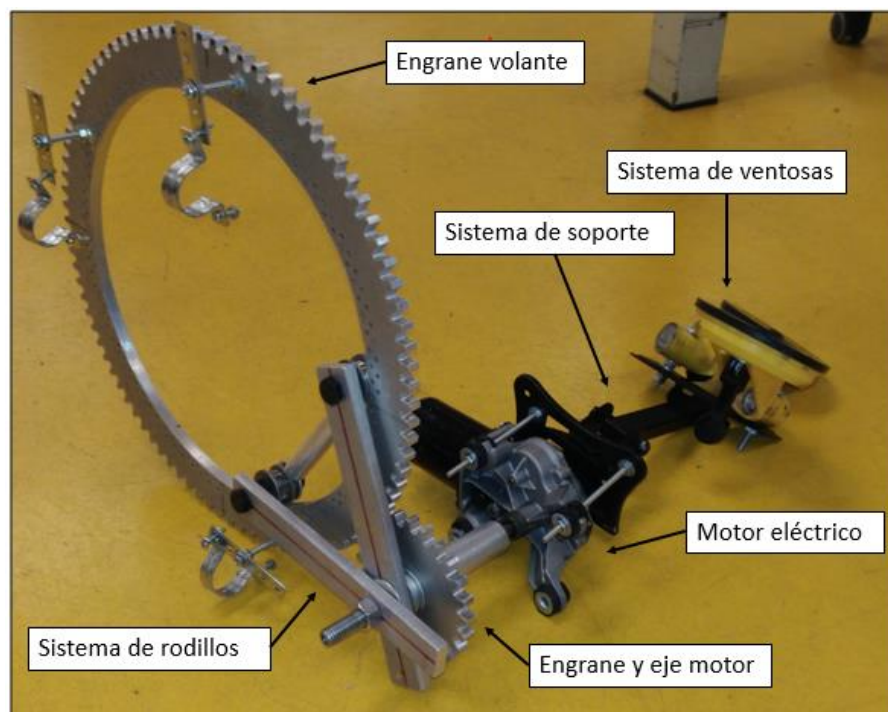
también se puede observar como el sistema de rodillos no ocupa la zona central del volante, de manera que el sistema de la bolsa de aire no queda inhabilitado, lo cual es un requisito necesario mencionado en las primeras páginas de este reporte.



**Imagen 2.3.16:** sistema de rodillos montado (fuente: fotografía propia)

- Sistema de control de dirección completo:

Se ha redactado un apartado extra para mostrar el sistema construido completo, en la siguiente imagen se puede observar dicho sistema:



**Imagen 2.3.17:** sistema de control de dirección completo (fuente: fotografía propia)

Todo el conjunto completo queda mostrado en la imagen anterior, todos los componentes contruidos, los cuales se ha detallado la explicación de su diseño y desarrollo anteriormente. En el apartado de análisis de resultados, se procederá a explicar el análisis de su funcionamiento.

## 2.4. Selección del material de construcción

Para los componentes que se construyeron en el laboratorio de mecánica de la universidad se utilizó aluminio en todo momento, en este apartado se describirán los criterios de selección y la razón por la que se seleccionó aluminio.

- En primer lugar, el principal criterio de selección por su mayor importancia, fue calcular si el material que se seleccionó podía soportar los esfuerzos y pesos que se iban a ejercer sobre él. En el caso de que el resultado de los cálculos fuera negativo, es decir, que sus tensiones límite fueran inferiores a las generadas durante el funcionamiento del sistema. Se descartaría el material sin tener en cuenta los demás criterios de selección.

Estos cálculos están adjuntos en los anexos de este informe. Las piezas que trabajan únicamente a tracción o compresión no se calcularon, se dio por hecho que iban a resistir. Los esfuerzos generados a compresión o tracción son muy pequeños en este caso y el aluminio es capaz de resistir grandes esfuerzos de este tipo. En esos cálculos queda demostrado como la pieza eje motor soporta los esfuerzos de torsión que se generan con los pasadores, y también como los dientes de los engranajes resisten el esfuerzo cortante generado cuando el sistema está en funcionamiento. Los cálculos de resistencia de los dientes se realizaron para la base de los dientes, el cual es un punto crítico de la rueda dentada.

- El segundo criterio por el que se seleccionó aluminio fue su viabilidad económica y fácil acceso. El aluminio es uno de los metales más utilizados en ámbitos muy diversos de la industria, junto con el acero. A consecuencia de ello es fácil de encontrar chapas y diferentes perfiles de barras de aluminio económicamente viables.
- El tercer criterio que se tuvo en cuenta fue el nivel de dificultad para ser mecanizado y la densidad. El aluminio es fácil de mecanizar, con él se puede realizar mecanizados rápidos y al ser un metal ligero su densidad es baja. Estas características le dieron al proyecto agilidad a la hora de hacer modificaciones a las piezas, además de reducir gastos en energía y herramientas durante la mecanización. Además de ser menos pesado, y por tanto generar menos carga a resistir durante el funcionamiento del sistema.

En este proyecto el objetivo fue construir un prototipo del modelo, si se llegara a profundizar en el proyecto más adelante y se quisiera aumentar la calidad del producto, una de las tareas a realizar podría ser encontrar el material más óptimo y eficiente para cada componente del sistema. Ya que por ejemplo en el caso de los dientes de los engranajes, podría pasar que, al ser un metal blando, durante el funcionamiento del sistema y a causa de pequeños impactos ocasionados por vibraciones y demás. El desgaste y deformación sea acelerado y por tanto la vida útil de estos sea demasiado corta.

### 3. Análisis de resultados

A finales del mes de febrero, se finalizó la construcción del prototipo del diseño final. A partir de entonces, una vez ya se tuvo una base construida con la que trabajar, mediante el método prueba – error, se procedió a instalar el sistema. Analizar su comportamiento de trabajo y modificar inconvenientes que pudieran surgir, o aplicar posibles mejoras que perfeccionaran alguno de los aspectos fundamentales (seguridad, grado de invasión, funcionalidad).

En este aparatado se procederá a redactar el análisis del comportamiento del sistema en el vehículo de pruebas, y describir en detalle todas las modificaciones aplicadas. Estas mejoras y modificaciones están presentadas cronológicamente a medida que se iban aplicando, empezando por las primeras ediciones, hasta las últimas modificaciones y pruebas realizadas.

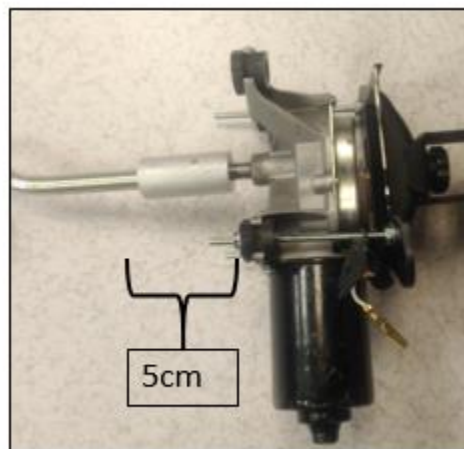
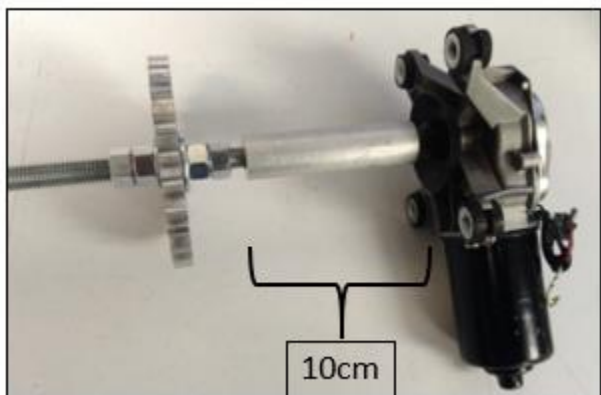
#### 3.1. Modificaciones estructurales

Una vez finalizada la construcción del sistema a finales del mes de febrero de 2018, se procedió a estudiar su funcionamiento. En primer lugar, se estuvo realizando modificaciones en la parte estructural, ya que había inconvenientes en el modelo construido que dificultaban su instalación.

- Modificación 1:

La primera vez que se intentó instalar el prototipo se concluyó que todo el conjunto era demasiado largo para el espacio disponible en el vehículo de pruebas.

Para corregir ese hecho la primera medida que se tomo fue acortar el eje motor. De manera que la pieza de aluminio que mantiene unido el tornillo sin fin, en el que va acoplado el engrane motor, con el eje del motor, se redujo de tamaño de 10 a 5 centímetros.



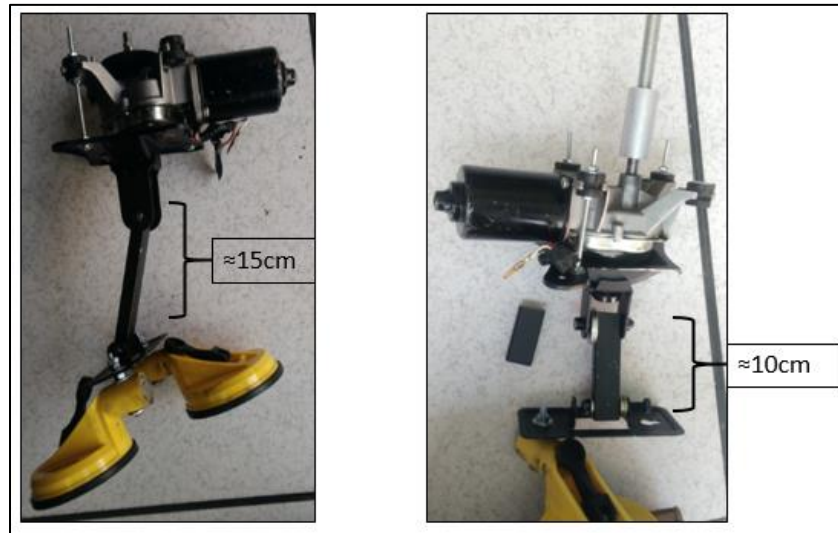
**Imagen 3.1.1:** reducción de tamaño de eje (fuente: fotografía propia)

- Modificación 2:

Después de la modificación 1, se realizó una segunda prueba de instalación, el prototipo seguía siendo excesivamente voluminoso, por lo que se buscaron otras maneras de reducir el tamaño.

Lo que se hizo fue recortar la estructura de soporte, este componente ocupaba la mayor parte del espacio disponible, por este motivo se recortó la barra metálica central. Con esta acción se consiguieron ganar 5 cm más. Aún y modificando la estructura de dicha forma, el sistema sigue teniendo los mismos grados de libertad para ser ajustado a la posición que se requiera.

En la siguiente imagen se puede observar dicha reducción:



**Imagen 3.1.2:** reducción de tamaño de la barra de soporte (fuente: fotografía propia)

- **Modificación 3:**

Una vez realizadas las modificaciones 1 y 2 en la prueba de instalación que se realizó a continuación, se concluyó que la reducción ya era suficiente, para una correcta instalación y acoplamiento de los engranajes. Sin embargo, hubo otro contratiempo.

La parte de soporte del motor eléctrico, al tener un área considerable entraba en contacto con el recubrimiento donde se encuentra el cuentakilómetros del salpicadero del automóvil.

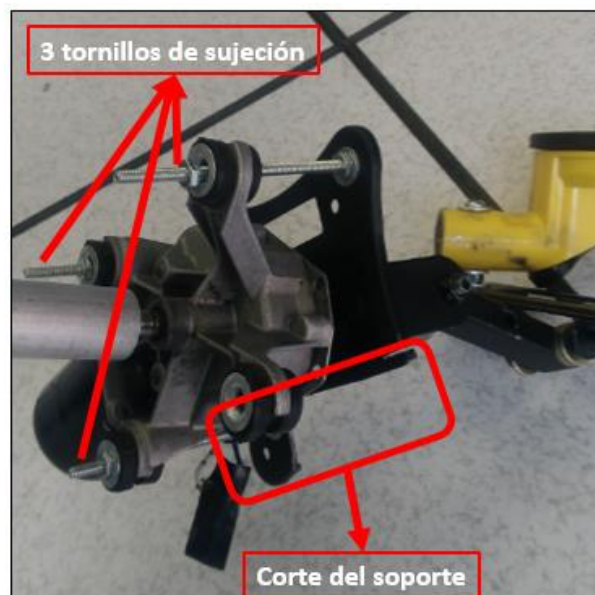
Esta pequeña molestia tenía que ser solucionada antes de intentar poner en funcionamiento el prototipo, ya que esa pieza de metal dañaría toda esa zona recubierta de piel rápidamente a causa de las vibraciones y desplazamientos que se fueran producir.



**Imagen 3.1.3:** zona de contacto con el salpicadero (fuente: fotografía propia)

En la imagen anterior se puede observar como el motor eléctrico tiene una estructura metálica con 4 barrenos por los que puede ser sujetado, lo mismo pasa con la estructura de soporte. Se consideró suficiente fijar el motor con 3 de estos 4 barrenos mediante el uso de unos tornillos de espárrago largo.

De esta manera hay un cuarto barreno que no es necesario. Por lo que se decidió cortar esa parte innecesaria del soporte, y así dar más libertad de posición a la estructura, consiguiendo que dejara de haber contacto entre la estructura de soporte y el salpicadero.



**Imagen 3.1.4:** estructura de soporte cortada (fuente: fotografía propia)



Con este corte de la esquina de la estructura se consiguió el objetivo, sin afectar a la firmeza de la placa.

Después de realizar las modificaciones 1, 2 y 3, ya se pudo acoplar el sistema correcta y cómodamente. Además, por el momento se decidió probar de instalarlo únicamente con una ventosa en vez de usar los dos. El conjunto no es muy pesado por lo que se concluyó que una sola ventosa podía soportar el peso del prototipo completo, de este modo también se reduce el impacto visual que genera.

Si después de realizar las pruebas de funcionamiento, se concluyera que una sola ventosa no puede soportar los esfuerzos generados, se volvería a incorporar la segunda ventosa para una mayor firmeza en la sujeción.

Uno de los mayores inconvenientes del sistema, al estar instalado en el vidrio frontal es su impacto visual, ya que obstaculiza la visión de la zona posterior del vehículo para el conductor. Por este motivo dentro de lo posible, se intentará reducir este impacto, eliminando o reduciendo dentro de lo posible el tamaño de los componentes del prototipo.

En la siguiente imagen se muestra la estructura instalada, quedando demostrado que no hay impedimentos de instalación relevantes y el espacio ocupado es el mínimo posible. Además, se consiguió encontrar la posición en que ambos engranes queden alineados en un mismo plano. Algo esencial ya mencionado anteriormente, para conseguir una correcta transmisión de movimiento minimizando el desgaste de los dientes de los engranajes.



**Imagen 3.1.5:** estructura de soporte instalada (fuente: fotografía propia)



### 3.2. Alineamiento del eje de rotación

Una vez conseguida una correcta instalación del sistema se abordó el estudio y análisis del comportamiento de los componentes del eje de motor construido.

Se realizó una puesta en marcha del motor con el engranaje acoplado mediante el tornillo sin fin y el cilindro de unión. Se llegó a la siguiente conclusión:

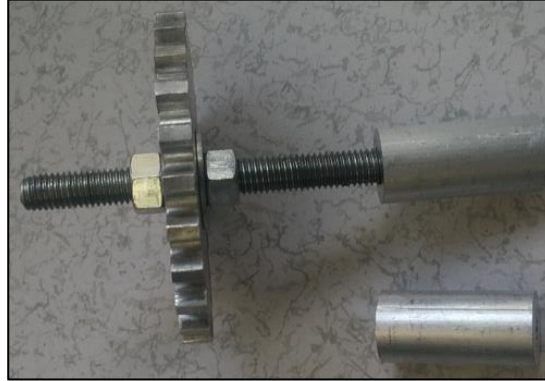
Las cuerdas generadas en el cilindro de unión de aluminio, que conecta el engrane de motor con el propio motor, se realizaron con un machuelo manual. Por este motivo es muy difícil que la cuerda generada quede bien alineada y centrada, cuando se realizaron las pruebas de rotación del eje, se observó un movimiento circular del engrane no deseado. Este movimiento comporta un desplazamiento del centro del engrane que queda representado mediante la línea circular roja en la siguiente imagen. Este desplazamiento no se puede obviar, en pleno funcionamiento como el sistema de rodillos impide que este tipo de movimientos puedan suceder, se generarían esfuerzos indeseados que con el tiempo y la fatiga desgastaría y podría llegar a romper alguno de los componentes.



**Imagen 3.2.1:** movimiento no deseado del eje motor (fuente: fotografía propia)

Para evitar este comportamiento se tuvo que buscar la manera de alinear todos los componentes del eje correctamente. No se puede conseguir una alineación del 100%, pero se intentó editar el sistema para estar dentro de un rango de desplazamiento tolerable para el caso que se ocupa. Es de gran importancia minimizar este movimiento circular no deseado, ya que es una variable que puede repercutir a empeorar la calidad de transmisión entre engranajes, además de aumentar el desgaste de los dientes mencionado en el párrafo anterior.

En primer lugar, para solucionar este inconveniente, se intentó rehacer la pieza repetidas veces manualmente, intentando generar las cuerdas para la tuerca del interior del cilindro lo más alineadas posible. Se sabe que el problema de la alineación recae en el cilindro de unión fabricado por el equipo al cargo de este proyecto, ya que el resto de piezas del eje son piezas compradas, y por lo tanto cumplen con las normativas de fabricación respectivas de cada componente.

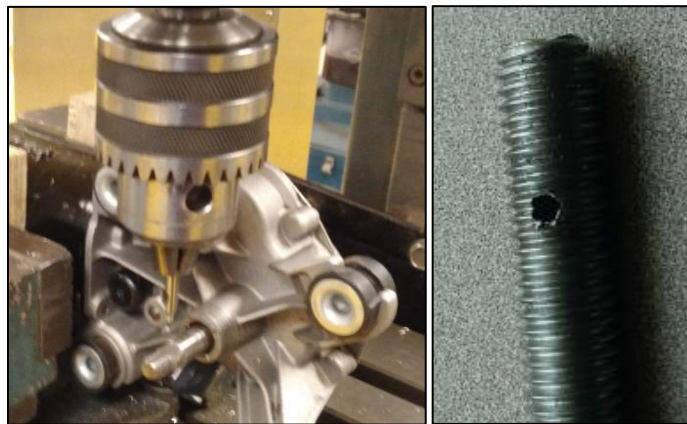


**Imagen 3.2.2:** fabricación repetida del cilindro de unión (fuente: fotografía propia)

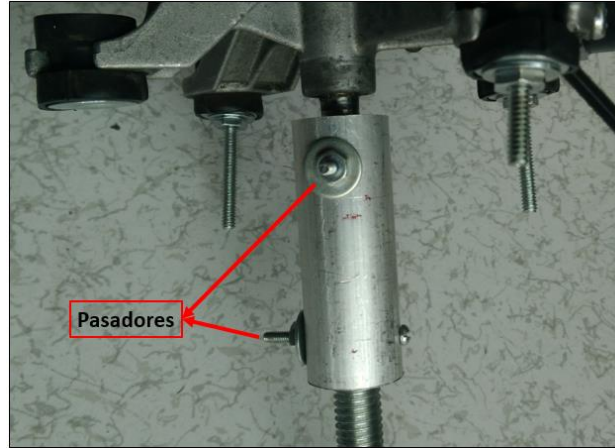
Como no se consiguió reducir ese error de alineación lo suficiente, se buscó otras maneras de solucionar el problema.

La solución con la que se abordó el problema fue cambiar de estrategia en cuanto a la alineación. En vez de buscar la alineación y centrado perfecto del eje, algo difícil de conseguir con los recursos disponibles, se pensó en dejar un cierto juego y aprovecharlo para dar margen de movimiento a la transmisión en el eje motor.

Esta solución consiste simplemente en un pasador a cada lado del cilindro de unión de aluminio que una y fije el eje por ambos lados. Para ello, se tuvo que perforar los ejes. El pasador a utilizar estaba muy limitado de tamaño, por un lado, tenía que ser lo suficientemente grande para soportar los esfuerzos que se le iban a aplicar. Pero a la vez lo suficientemente pequeño como para que las perforaciones no debilitaran los ejes. El eje del motor es el más estrecho, por eso este fue el principal limitante del diámetro del pasador.



**Imagen 3.2.3:** perforaciones realizadas en los ejes (fuente: fotografía propia)



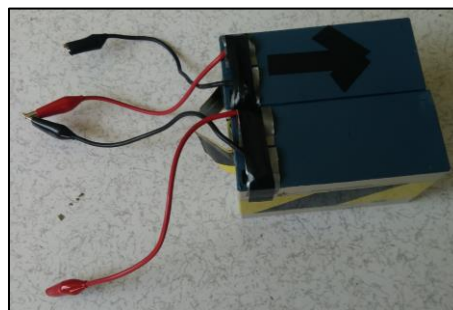
**Imagen 3.2.4:** nueva pieza de unión del eje con pasador (fuente: fotografía propia)

La idea era parecida al concepto de la junta universal, una transmisión del 100% pero que tolerara el hecho de que el eje del motor y el engrane del motor no estuvieran en el mismo plano. Esto también sería útil para lidiar con las posibles vibraciones que se generen durante la conducción. A diferencia de la junta universal, tiene mucho menos margen de movimiento, ya que los ejes están dentro del cilindro con el pasador. Este hecho en este caso es beneficioso, de este modo la zona del eje tiene una mayor firmeza y esa firmeza es necesaria para mantener los engranes en la posición de trabajo.

En el lado del tornillo sin fin el cilindro de aluminio tiene hecha la cuerda para que también vaya roscado, para este tipo de cuerda al ser grande queda mejor alineada y al tener un paso largo le da juego de movimiento por lo que se consideró adecuado realizar la cuerda interior del cilindro. Al otro lado no se le hizo ninguna cuerda, ya que esta, al ser más pequeña es más difícil centrarla, y por eso estuvo dando tantos problemas de alineación. Llegado este punto, se decidió realizar la primera prueba de funcionamiento, para ver si las modificaciones realizadas daban una buena respuesta.

### 3.3. Prueba de funcionamiento 1 - 09/03/2018

Una vez se tuvo construido el sistema por pasador, ya fue posible realizar las primeras pruebas de transmisión de movimiento. El día 9 de marzo de 2018, se realizó la primera prueba conectando el motor eléctrico a dos baterías en serie de 12V cada una, para tener un voltaje adecuado.



**Imagen 3.3.1:** fuente de alimentación para pruebas (fuente: fotografía propia)

En un primer intentó, se realizó el test con el set – up que se observa en la siguiente imagen:



**Imagen 3.3.2:** prueba con set – up 1 (fuente: fotografía propia)

En este primer ensayo, se concluyó que el uso de una sola ventosa, no sería suficiente para soportar los esfuerzos que se generan durante el funcionamiento normal del sistema. El torque generado llegaba a desplazar la estructura antes de girar los engranajes, porque una sola ventosa no absorbía bien los esfuerzos que se generaban. Por ese motivo se recurrió al uso de las dos ventosas, aunque aumentara el grado de invasión visual, era necesario para repartir entre las dos ventosas los esfuerzos generados.

El segundo test, se realizó con el set – up que se observa en la siguiente imagen:



**Imagen 3.3.3:** prueba con set – up 2 (fuente: fotografía propia)

La conclusión de la segunda prueba fue más satisfactoria. Hay videos demostrativos donde se observa como el sistema es capaz de girar el volante de un extremo al otro (aproximadamente 2.5 vueltas de

volante) en 2 – 3 segundos. Los rodillos mantienen los engranajes unidos correctamente, la transmisión del giro es correcta y las ventosas junto con la estructura de soporte, mantienen el conjunto en posición.

Aun así, hubo algunos aspectos a mejorar:

- Tal y como estaba montado el sistema, los esfuerzos transmitidos a la estructura cuando el motor está girando generan pequeños desplazamientos, y por tanto pérdidas de energía y calidad de la transmisión. Para mejorar esta situación se tendrá que averiguar la manera de darle más firmeza a la estructura. Una posible solución sería que todo el peso principal del sistema (zona del motor eléctrico), quedará aún más cerca de la zona de sujeción para hacerlo más robusto.
- En la parte del vidrio frontal más cercana a los laterales del vehículo, es la zona donde el vidrio está más curvado. Por ese motivo las ventosas no se pegan correctamente, y si lo hacen se despegan con mucha facilidad. Como consecuencia, eso obliga a pegar las ventosas en una parte relativamente alejada del lateral donde la curvatura del vidrio es más leve, para que el agarre de las ventosas sea lo suficientemente bueno como para no despegarse con los esfuerzos que se generan cuando el sistema está operativo. Esto implica un impacto visual considerable, limitando en exceso la visibilidad del conductor. Para mejorar eso se tendrá que buscar un punto de pegado menos invasivo.

En la siguiente imagen queda mostrado el inconveniente visual que genera el sistema, al tener las ventosas pegadas en una zona alejada del lateral del vehículo, se observa como una de las ventosas queda en una zona demasiado central del vidrio.



**Imagen 3.3.4:** impacto visual de las ventosas (fuente: fotografía propia)

Para solucionar los problemas observados en las pruebas, lo primero que se consideró fue la posibilidad de modificar o añadir soportes y fijaciones extra más cerca del motor.

Eso iba a comportar grandes inversiones de tiempo y dinero. Por lo que se decidió centrarse en optimizar al máximo el diseño ya construido, e intentar añadir lo mínimo posible.

Por todo esto, se inició el estudio de la sujeción del sistema mediante la ventanilla lateral del piloto.





**Imagen 3.3.5:** sujeción des de la zona lateral del vehículo (fuente: fotografía propia)

Instalado de esta manera, el inconveniente del impacto visual se reduce considerablemente. Además, en relación al problema de los esfuerzos, la posición en la que se encuentra la estructura en este caso puede resistir mejor los momentos generados, porque la posición de trabajo de los engranajes en el que se generan los mayores esfuerzos, queda en un plano cercano al plano de mayor resistencia de la estructura de soporte.

Por otro lado, la visibilidad que se gana en el vidrio frontal, se podría perder en el retrovisor izquierdo. Después de algunas pruebas de instalación se concluyó que es posible instalarlo de esta manera, afectando muy levemente a la visión del retrovisor, tal como se muestra en la siguiente imagen.



**Imagen 3.3.6:** visibilidad del retrovisor (fuente: fotografía propia)

Algunas de las ventajas de esta opción es que su instalación es mucho más amigable, ya que para instalarlo en el vidrio frontal hay que trabajar en una zona del vehículo difícil de acceder. Además, la curvatura del vidrio de la ventanilla es mucho más leve y por lo tanto las ventosas trabajan y se pegan mucho mejor. Se intentó realizar una prueba de funcionamiento. Pero tal y como es la estructura actualmente, no se puede llegar a alinear los engranajes en el mismo plano suficientemente. Para ello se tuvo que buscar la manera de dar a la estructura más margen de ajuste.



### 3.4. Modificaciones para sujeción des de la ventanilla del piloto

Una vez decidido el hecho de pegar las ventosas en la ventanilla lateral por las ventajas que aportaba ya comentadas en el apartado anterior. Se tuvieron que realizar pequeñas modificaciones estructurales para la correcta alineación de las ruedas dentadas.

Durante las primeras mejoras del sistema en la fase de análisis de resultados, una de las modificaciones estructurales realizadas fue acortar la estructura de soporte. Ya que era conveniente para la correcta instalación del modelo, en la situación en la que se encontraba el proyecto en aquel entonces.

En el momento presente en cambio, para pegarlo des de la ventanilla del piloto, no solo era necesario alargarlo de nuevo, sino que además era conveniente darle más libertad de ajuste.

Para lograr el nuevo objetivo, se incorporó unas barras en el soporte que daban la distancia y el margen de ajuste deseado, sin perder la firmeza del soporte. Además, se consiguió todo ello utilizando material sobrante de modificaciones y componentes anteriores.

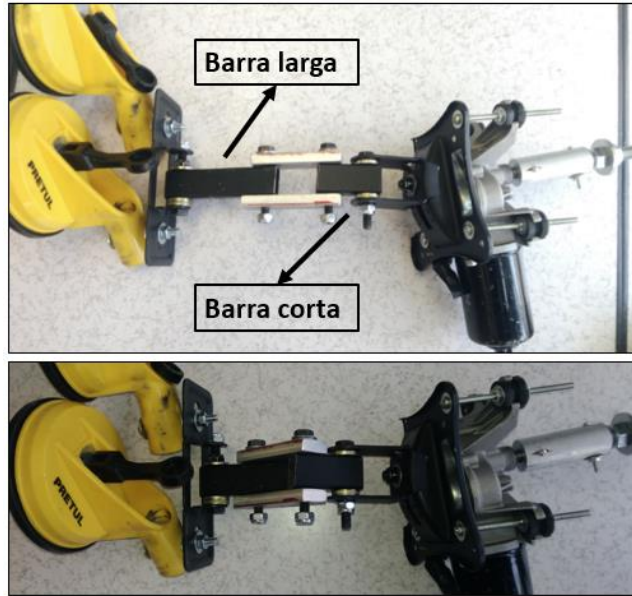


**Imagen 3.4.1:** material utilizado para el nuevo soporte (fuente: fotografía propia)

En la imagen anterior se puede observar como, por un lado, de la plancha de aluminio con la que se realizaron las ruedas dentadas, el material sobrante se utilizó para generar dos barras de aluminio de unos 7 - 8 cm aproximadamente.

Por otro lado, también se utilizó el pedazo de material sobrante de la modificación 2 del apartado 3.1 de este reporte. En la que se acortó la barra metálica negra que formaba parte del soporte del motor. Se le hizo un segundo barreno para poderle acoplar las barras de aluminio generadas.

En la siguiente imagen se muestra la nueva estructura montada.

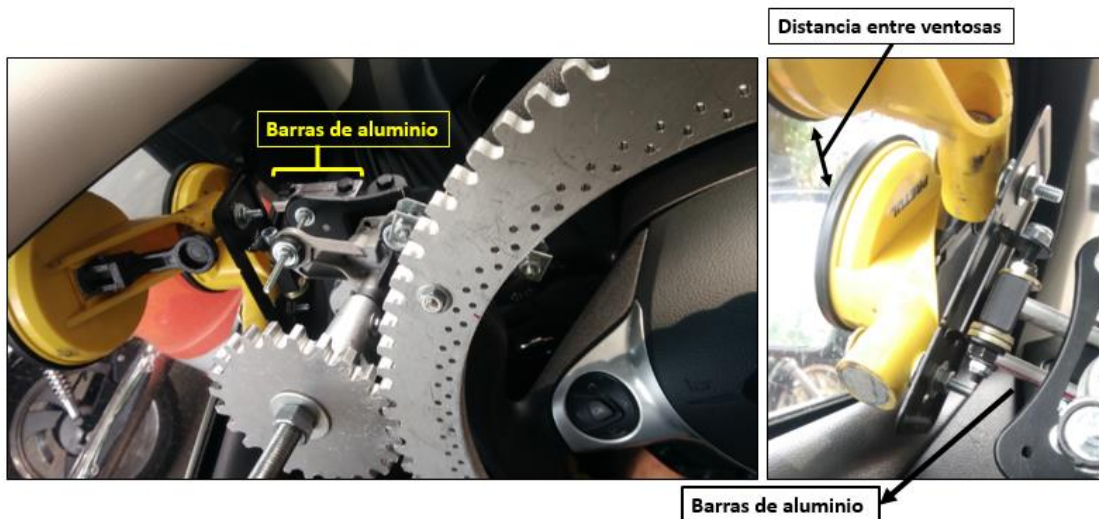


**Imagen 3.4.2:** nueva estructura montada 2 posiciones posibles (fuente: fotografía propia)

La barra corta de la imagen 3.4.2 es el pedazo sobrante reutilizado, y la barra larga tiene una perforación en un punto intermedio, de esta manera hay 2 posiciones posibles y se puede ajustar mejor la distancia si se desea.

Este conjunto generado fue suficientemente largo y ajustable para poder instalar el sistema desde la ventanilla del piloto, y posicionar los engranes en un mismo plano.

En la siguiente imagen se muestra el conjunto acoplado en el vehículo, con las nuevas barras de aluminio en la estructura de soporte, confirmando la correcta alineación de los engranajes.



**Imagen 3.4.3:** sistema modificado e instalado (fuente: fotografía propia)

Durante las pruebas de instalación con las nuevas modificaciones, se descubrió otro pequeño inconveniente, este estaba relacionado con la distancia entre las ventosas indicada en la imagen anterior.

Se observó que la segunda ventosa que se pega no queda bien pegada, al estar tan cerca la una de la otra, cuando la primera ventosa se engancha al vidrio, la parte de sujeción de las ventosas de la estructura de soporte, adopta una posición la cual dificulta a la segunda ventosa poderse pegar con firmeza. Por lo que, al cabo de un cierto tiempo, o si se le aplica esfuerzos como cuando el sistema está en funcionamiento la segunda ventosa se despegas.

Para evitar este suceso fácil y rápidamente, se decidió generar otra barra de aluminio con el material sobrante de los engranajes, para poder distanciar las ventosas entre sí.

En la siguiente imagen se muestra la introducción de la barra metálica, con ella se ganaron aproximadamente 8cm de separación entre las ventosas.

Al aplicar este nuevo mecanismo la segunda ventosa podía trabajar correctamente. Sin embargo, en esta situación de trabajo la ventosa queda justo delante del retrovisor izquierdo del vehículo, obstaculizando por completo la visibilidad del retrovisor para el conductor.

En la siguiente imagen se muestra la barra que separa las ventosas y su impacto visual.



**Imagen 3.4.4:** ventosas distanciadas (fuente: fotografía propia)

La conclusión a la que se llegó en ese momento, fue que el set – up se veía muy conveniente en cuanto a la funcionalidad de la estructura. Las ventosas trabajaban bien, y el soporte era firme y bien posicionado para poder soportar los esfuerzos que se fueran a generar durante el funcionamiento, y poder proporcionar una correcta transmisión entre engranajes. Por estos motivos se procedió a realizar pruebas de funcionamiento con este set – up.

Si los resultados llegaran a ser lo suficientemente positivos, se procedería a solucionar el problema del impacto visual con el retrovisor. Esto se conseguiría alargando aún más la barra metálica que separa las ventosas, en vez de 8cm que fueran unos 40cm, quedando la ventosa en la zona de la ventanilla más cercana a la parte central del vehículo.

A continuación, una vez solucionados los problemas estructurales que aparecieron por pasar a fijar la estructura en la ventanilla. Se procedió a analizar el comportamiento del sistema con el nuevo set – up.

### 3.5. Prueba de funcionamiento 2 - 16/03/2018

El día 16 de marzo de 2018 se realizó una segunda prueba de instalación y funcionamiento con el nuevo set – up. A diferencia de las primeras pruebas realizadas, en este caso se efectuaron de dos tipos, estáticas y dinámicas (con el coche en movimiento en el último piso de la zona de estacionamiento de CEDETEC).



**Imagen 3.5.1:** prueba con set – up 3 (fuente: fotografía propia)

Realizando la prueba dinámica, se pudo comprobar el impacto generado sobre el sistema en funcionamiento, de las vibraciones que se producen cuando el automóvil está en movimiento. Las pruebas realizadas fueron a baja velocidad aproximadamente 10km/h, y el estado del pavimento era correcto, la conclusión en estas condiciones fue que el sistema opera con normalidad. En ambas pruebas se obtuvieron resultados satisfactorios. Los engranajes se mantuvieron alineados en todo momento, girando correctamente hacia ambos sentidos.

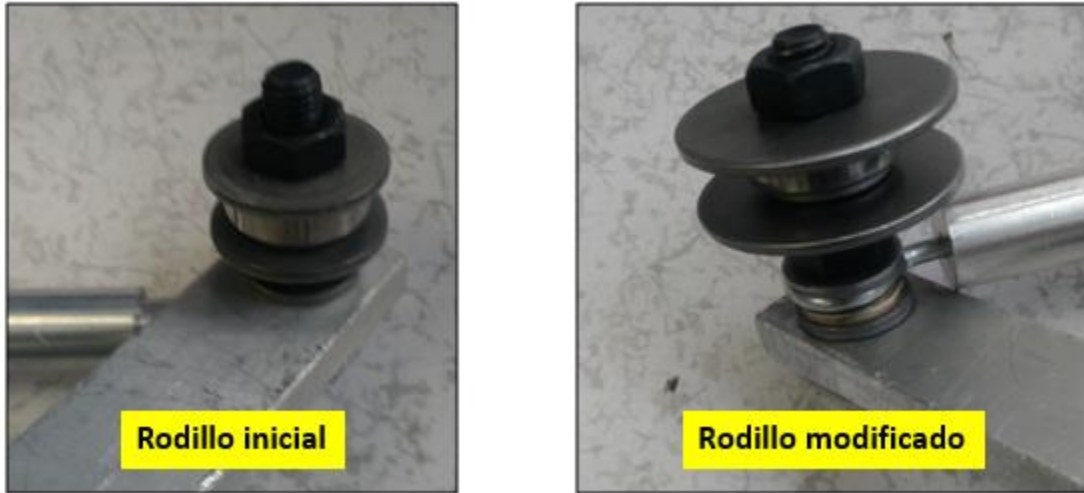
Como se mencionó anteriormente la parte estructural de soporte es mucha más compacta y robusta con la instalación des de la ventanilla, porque el peso del motor queda mucho más cerca de las ventosas generando menores esfuerzos. Eso reduce los desplazamientos, estos desplazamientos cuando se observaron en las primeras pruebas de funcionamiento del día 09/03/2018, donde el punto de fijación era el vidrio frontal. Eran más elevados, tanto que cuando se cambiaba el sentido de giro del volante, los engranes estaban tan desplazados respecto a la posición de inicio, que, para recolocarse para poder girar hacia el otro sentido, se producían movimientos bruscos y violentos, intolerables por los daños y desgaste que pudieran causar al prototipo, y la desconfianza que pudieran generar a los usuarios que usen esta tecnología.

Aunque el resultado general de las pruebas se calificó de satisfactorio, hay un aspecto en relación a los rodillos que se tuvo que modificar. Sobre todo, en situación de cambio de sentido de giro, donde hay desplazamientos porque el sistema se mueve levemente para colocarse en posición cómoda de trabajo, los rodillos se salían del rail.

Los rodillos tal y como se detalló en apartados anteriores, están formados por unos baleros que serían la parte central del cuerpo del rodillo, y a cada lado tiene unas rondanas que hacen de tope de manera que el rail (rail: el diámetro interior de la rueda dentada de volante), no se pueda salir de lugar. Sin embargo,

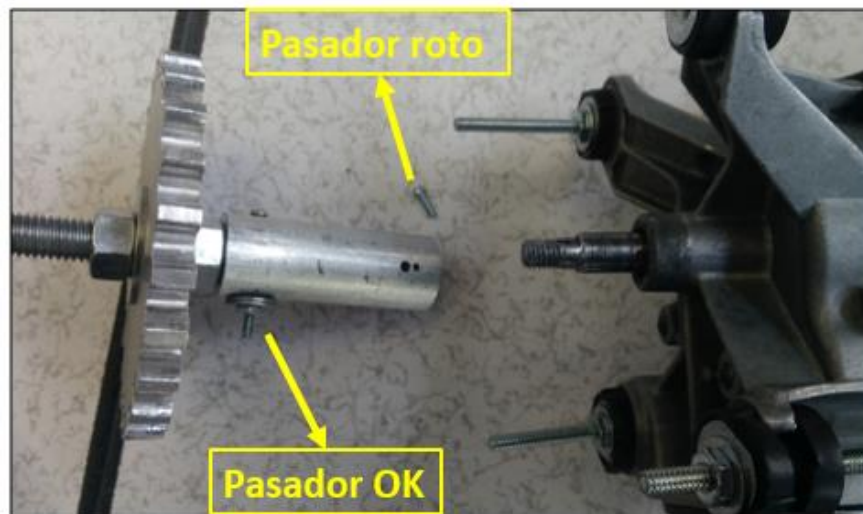


la diferencia de diámetro entre el balero y la rondana que hace de tope es demasiado pequeña, por eso el rail se salía fácil y frecuentemente de lugar. Para arreglar este inconveniente, simplemente se cambió las rondanas topes por unas de mayor diámetro dificultando así que pudiera volver a suceder un descarrilamiento del rodillo.



**Imagen 3.5.2:** sistema de rodillos modificado (fuente: fotografía propia)

Cabe resaltar que durante las pruebas dinámicas el pasador que sujeta el eje motor por la parte del motor se rompió. Durante las pruebas estáticas, hubo un momento en que el sistema no estaba montado correctamente, en ese momento al poner en marcha el motor, todo el conjunto fue sometido a esfuerzos mucho mayores de lo que están pensados a resistir. Esos pasadores son los elementos con menor sección y por tanto uno de los de menor resistencia. Se cree que, durante esa aplicación de esfuerzo excesivo, se generó una pequeña grieta a la estructura del pasador, a partir de entonces a cada prueba se fue debilitando más el pasador hasta la rotura total en cierto punto.



**Imagen 3.5.3:** rotura del pasador (fuente: fotografía propia)

Con todo esto, se les pidió a los profesores asesores del proyecto que estuvieran presentes para poder mostrarles los avances en vivo hasta el momento. Su conclusión fue que la idea en general era buena, el funcionamiento era correcto, mínimamente invasivo, pero había un pequeño aspecto que resaltaron en cuanto a seguridad, que el equipo de estudiantes a cargo del proyecto no había tenido en cuenta, y los profesores consideraron necesario su estudio y modificación.

El hecho fue que con el set – up 3, una vez instalado el sistema, el piloto para poder abrir la puerta y salir del vehículo, debe o desarmar las ventosas o desacoplar el sistema de rodillos. En caso de accidente esta dificultad añadida a la hora de abrir la puerta es un gran inconveniente, ya que podría dificultar el rescate de los integrantes del vehículo.

De ahora en adelante, ya que el funcionamiento e instalación se consideran correctas, los futuros estudios, análisis, y mejoras se centrarían en mejorar aspectos de seguridad y de impacto visual.

La primera propuesta realizada entre los profesores asesores y los estudiantes a cargo del proyecto fue volver a analizar la idea de acoplarlo al vidrio frontal, la opción de fijado des de la ventanilla del piloto quedaría descartada por el momento por los motivos de seguridad mencionados.

### 3.6. Restablecimiento de sujeción des del vidrio frontal

El motivo por el cual se pasó a buscar la sujeción des de la ventanilla, fue por el impacto visual de la zona posterior del vehículo para el piloto. Las ventosas no podían ser pegadas correctamente en la zona lateral del vidrio frontal a causa de una curvatura del vidrio demasiado elevada, y al tener que pegarse alejadas de esa zona obstaculizaban de manera elevada la visibilidad.

El equipo de trabajo, llegó a la conclusión de que la manera más fácil para empezar a abordar la nueva mejora fue mediante el uso de unas ventosas más pequeñas. Las ventosas usadas hasta el momento estaban sobredimensionadas, ya que estas cuando están pegadas correctamente pueden llegar a soportar hasta 70kg, mucho más de lo necesario para el caso de este proyecto. La copa de estas ventosas es de 115 mm de diámetro.

Se comprarían unas ventosas nuevas para reemplazarlas, de 60mm de diámetro. Según su ficha técnica, cada una de ellas llega a soportar hasta 5kg, por lo que en un principio se usarían dos de ellas. El conjunto del sistema a soportar es de alrededor de 5 kg, añadiendo los kilopondios de fuerza generados con los esfuerzos cuando el sistema este operativo quedaría algo superior a los 5kg de carga, pero se dejará un margen de seguridad acoplando 2 ventosas y por tanto 10kp de fuerza disponibles. Además, como ya se mencionó en apartados anteriores, es necesario fijar la estructura des de al menos 2 puntos para resistir los esfuerzos sin grandes desplazamientos del sistema.

El hecho de que la copa se reduzca hasta casi la mitad, por un lado, mejoraría el impacto visual. Por otro lado, posiblemente se podrían pegar en zonas con mayor curvatura que las de mayor diámetro, por lo que se podrían pegar en zonas más laterales del vidrio, y por tanto menos invasivas visualmente.

Antes de realizar la compra, se pidió la opinión a los profesores asesores, en esa reunión se decidió buscar otra alternativa porque este tipo de ventosa no sería fácil de modificar de tal manera que se pudiera acoplar al sistema y que trabajará correctamente al mismo tiempo. Se consideró oportuno entonces,



intentarlo primero por otra vía que no requería compra de nuevo material y que permitiría conservar las ventosas que se tenían.

Para la sujeción des de la ventanilla, se había añadido una barra metálica a una de las ventosas que le daba distancia y movilidad de posición para encontrar la zona de pegado en el vidrio más óptima para la ventosa. Siguiendo esa línea de concepto, se iba a intentar algo parecido des del vidrio frontal, con el propósito de encontrar una buena zona de pegado, que estuviera apartada de la zona central para reducir el impacto visual y que fuera lo suficientemente plana como para que trabajaran correctamente. Todo ello, manteniendo la estructura en la zona lo más inferior izquierda del vidrio posible para mantener las ventajas de esa posición.

Para todo ello uno de los profesores asesores, proporcionó una estructura metálica sobrante para la construcción de estanterías. Se cortó un tramo con las medidas de interés para el proyecto, y se intentó instalar con las ventosas y la estructura de televisión atornilladas a la ella. En la siguiente imagen se muestra como quedó el resultado del nuevo conjunto.



**Imagen 3.6.1:** sistema de soporte modificado 1 (fuente: fotografía propia)

La estructura con perfil “L” ocupaba demasiado espacio generando demasiado impacto visual y además no se podía acabar de posicionar de la manera deseada, ya que toda la zona del vidrio frontal es poco accesible y estrecha. Por esos motivos mediante el uso de un esmeril, se cortó la estructura y se juntaron las dos caras del perfil mediante tornillos para hacer la estructura más robusta.

Además, se analizó varias combinaciones, en un principio se intentó poner la estructura lo más a la izquierda posible y las ventosas a la derecha. El problema fue que como mínimo una de las ventosas debía estar cerca del conjunto, porque si no el pandeo generaría desplazamientos demasiado elevados. Otro inconveniente fue que al estar a la derecha quedaba justo delante del volante por lo que el impacto visual seguía siendo elevado, tal y como se muestra en la siguiente imagen.



**Imagen 3.6.2:** sistema de soporte modificado 2 (fuente: fotografía propia)

Se siguió modificando la estructura para encontrar el set – up y posición más ventajosa. En primer lugar, se probó de poner una de las ventosas a la izquierda de la estructura en vez de tener las dos a la derecha. Eso aparte de reducir el impacto visual, repartiría mejor el esfuerzo entre las ventosas, ya que en la posición mostrada en la imagen 3.6.2, la ventosa central es la que se lleva la mayor parte del esfuerzo. En segundo lugar, también se incorporó tornillos a lo largo de la estructura y una pequeña barra de aluminio en la zona central actuando de refuerzo, para darle más firmeza y reducir el pandeo. Cabe resaltar que el tener un ligero pandeo daba a la estructura margen de ajuste para poder acoplar las ventosas correctamente. Una vez pegadas las ventosas el conjunto quedaba relativamente firme e inmóvil por lo que no se consideró un gran problema el hecho que la barra metálica pandeara. En la siguiente imagen se muestra todo lo mencionado hasta el momento.



**Imagen 3.6.3:** sistema de soporte modificado 3 (fuente: fotografía propia)

Llegado este punto, el impacto visual de las ventosas había sido reducido considerablemente, se había conseguido posicionarlas estratégicamente de manera que estuvieran lo más alejadas posible de la zona de mayor relevancia visual para el conductor. Aun así, se tendría que analizar con todo el equipo y con los profesores asesores, si realmente valía la pena el acoplar una barra de punta a punta del vidrio para conseguir esa posición para las ventosas. Otro punto a tener en cuenta fue que la ventosa situada junto al conjunto de soporte, seguía recibiendo la mayor parte del esfuerzo, por ese exceso de esfuerzo se despegaba frecuentemente.

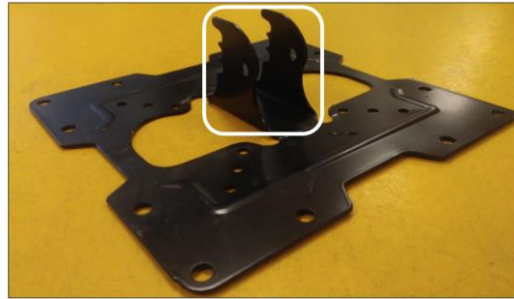
El uso de ventosas como único punto de fijación y apoyo con el vehículo, había dado problemas desde el inicio del proyecto. Estas están diseñadas para aguantar grandes esfuerzos, mucho mayores que los que se generan en este proyecto. Sin embargo, la curvatura del vidrio reducía la capacidad de estas. De manera experimental analizando resultados y modificaciones realizadas, se ha podido observar como la reducción de la capacidad de las ventosas es más de lo que se creyó inicialmente, más de lo tolerable. De modo que se creyó oportuno buscar un apoyo extra lo más simple posible con la función de reducir la carga a soportar para las ventosas.

Para ello una opción posible era añadir una estructura poco voluminosa que estuviera simplemente apoyada en el salpicadero del vehículo. Este sólo resistiría cargas verticales, pero eso era lo único necesario, ya que las ventosas se encargarían de empujarlo para mantener el sistema en una posición fija.

Con el fin de mejorar los conceptos escritos en los últimos párrafos, se abordó el objetivo con la nueva idea. Se decidió deshacerse por el momento de la estructura metálica que va de un extremo a otro del parabrisas, porque se creyó poco eficiente, en el sentido de que aporta pocas ventajas para lo voluminoso y estorboso que resulta.

Se llegó a la conclusión de que el conjunto debía seguir en la línea de lo más compacto posible, y por lo tanto mantenerlo todo en la zona izquierda inferior del vidrio frontal, ambas ventosas incluidas. Las ventosas se mantendrían pegadas correctamente en esa zona, si se conseguía reducir el exceso de carga que las despegaba. Para reducir ese exceso de carga se incluyó en el sistema el nuevo componente mencionado.

Para fabricarlo, simplemente se tomó una pequeña estructura que estaba en desuso en el laboratorio y se modificó de manera conveniente para el proyecto. En las siguientes imágenes se muestra lo mencionado.



**Imagen 3.6.4:** material original (fuente: fotografía propia)

Del material de origen mostrado en la imagen anterior, la parte de interés para el proyecto era únicamente lo redondeado con línea blanca. Como ya se ha comentado con anterioridad era necesario hacerlo lo más pequeño posible. Para reducir el impacto, pero sobre todo para que fuera lo más adaptable posible, ya que iría apoyado sobre el salpicadero, que es una superficie con muchas irregularidades.



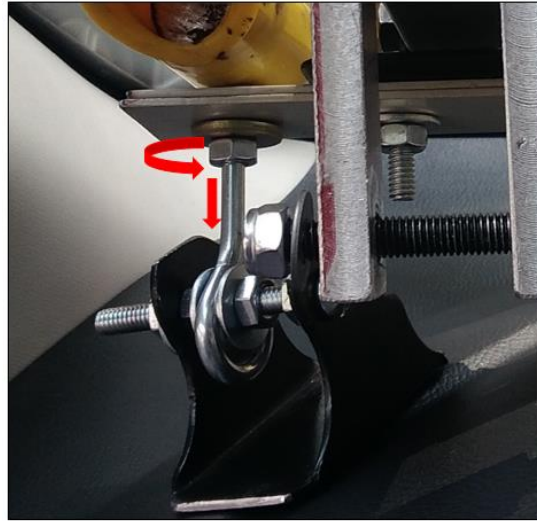
**Imagen 3.6.5:** nuevo componente para el sistema de soporte (fuente: fotografía propia)

En la imagen anterior se muestra el nuevo componente acoplado en una primera prueba de instalación. Como se puede observar, mediante el uso de un tornillo con cabezal de aro y un juego de tuercas, se consiguió unir la ventosa y el nuevo componente desde el mismo punto. Se le aplicaron esfuerzos



manualmente al conjunto para testear la firmeza de este. Se llegó a la conclusión de que con la nueva incorporación las prestaciones del soporte mejorarían considerablemente. Por un lado, Su nivel intrusivo sería mínimo, ya que quedaría detrás del motor una vez instalado el sistema completo. Por el otro, mantenía la ventosa en posición de trabajo y soportaba una gran parte del peso del conjunto, además por las características del acabado de su superficie no dañaría el salpicadero del coche.

Otra ventaja es que se puede graduar la carga aplicada sobre el nuevo componente, jugando con las distancias y el giro de las tuercas. En la siguiente imagen se va a proceder a explicar el margen de ajuste de la carga de trabajo.



**Imagen 3.6.6:** ajuste de la carga del nuevo componente (fuente: fotografía propia)

Aplicando a la tuerca el movimiento giratorio descrito en la imagen, al estar la ventosa fija y pegada, obliga al tornillo con cabezal de aro a desplazarse verticalmente hacia abajo tal y como se indica. Eso aumenta la presión entre el salpicadero y el componente, aumentando la carga a soportar por el componente, y aumentando también la firmeza del conjunto. No es recomendable roscarlo en exceso, ya que generar demasiada presión, podría dañar tanto componentes del sistema como el salpicadero del vehículo.

Una vez concluido el resultado de las pruebas como satisfactorio, se instaló todo el conjunto para ver el impacto visual del sistema completo con el nuevo set – up, y para realizar nuevamente pruebas de funcionamiento.



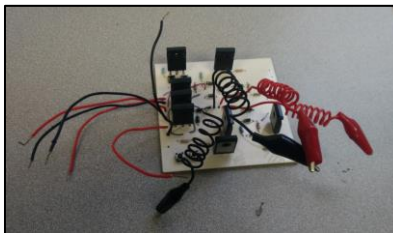
**Imagen 3.6.7:** sistema completo instalado (fuente: fotografía propia)

En la imagen anterior, redondeado de rojo esta la barra metálica que se había utilizado anteriormente, durante la fase en la que se intentaba instalar el sistema des de la ventanilla del conductor. Utilizándola en el modelo presente, se consigue igual que en el modelo de pegado des de la ventanilla, más posibilidad de posición para la ventosa, para poder encontrar una zona en la que se pueda pegar correctamente. Además, se puede posicionar detrás de todo el conjunto para evitar que quede en el centro de la zona de visión del conductor. A continuación, se procedió a realizar otra prueba de funcionamiento para comprobar el comportamiento del nuevo set – up, comprobar entre otras cosas si las ventosas quedaban bien pegadas con todas las ayudas añadidas al sistema de soporte.

### 3.7. Prueba de funcionamiento 3 - 12/04/2018

Esta etapa de pruebas se empezó el día jueves 12 de abril del 2018, pero en realidad fueron varios días seguidos de test. Según las conclusiones que se sacaban en cada prueba, se hacían las modificaciones pertinentes y se volvía a testear.

Se empezó por hacer pruebas estáticas, por primera vez con un controlador. Este tenía dos botones, uno para cada sentido de giro. De esta manera ya no se tenía que estar cambiando las conexiones de los cables de las baterías al motor para modificar el sentido de giro. Eso hacía las simulaciones mucho más reales, ya que nos permitía cambiar el sentido de giro de manera inmediata. El controlador se calentaba después de mucho tiempo en funcionamiento porque se le transmitía mucho voltaje. Sin embargo, ese voltaje era necesario para mover el conjunto a una velocidad realista. El uso de ese controlador era únicamente para el estudio del comportamiento mecánico del diseño, por lo que no se le dio mucha importancia al calentamiento que se generaba.



**Imagen 3.7.1:** controlador para sentido de giro del motor (fuente: fotografía propia)

En primer lugar, comentar las conclusiones de los aspectos positivos. Con la incorporación del punto de apoyo en el salpicadero, la ventosa de la izquierda no se despegaba, con esa combinación de puntos de apoyo, se consiguió una fijación muy firme, al repartir el peso en tres puntos (dos ventosas y el punto de apoyo), todo el conjunto quedaba bien inmovilizado. Por otra parte, la ventosa de la derecha, aun y con el margen de movimiento que le daba la barra de aluminio, sí era más fácil encontrar una posición menos invasiva a la visión y que se pudiera pegar mejor, pero seguía despegándose al exigirle esfuerzos durante el funcionamiento. Toda la zona del parabrisas que queda en la esquina inferior izquierda, tiene mucha curvatura y por mucho margen de ajuste que diera la barra de aluminio, en esa zona iba a ser difícil encontrar una buena posición de pegado. En cuanto al sistema de rodillos, con la incorporación de rondanas más anchas, ya no se salían del raíl realizando su función correctamente en todo momento.

Por otro lado, después de las primeras pruebas, al volver a la fijación des del parabrisas, aunque se había reducido considerablemente el problema del impacto visual, Seguía habiendo desplazamientos del



engrane motor. De nuevo el motivo era que la fijación trabajaba en una posición alejada y poco ventajosa respecto donde se generaban los esfuerzos.

El problema fue que, aunque se quería hacer más firme para reducir los desplazamientos indeseados. También era necesario que el conjunto se pudiera desplazar ligeramente, ya que el volante no se mantiene en un eje fijo de manera constante, si no que al girarlo hay un desplazamiento vertical, y el sistema tenía que ser capaz de poder absorber ese movimiento sin problema.

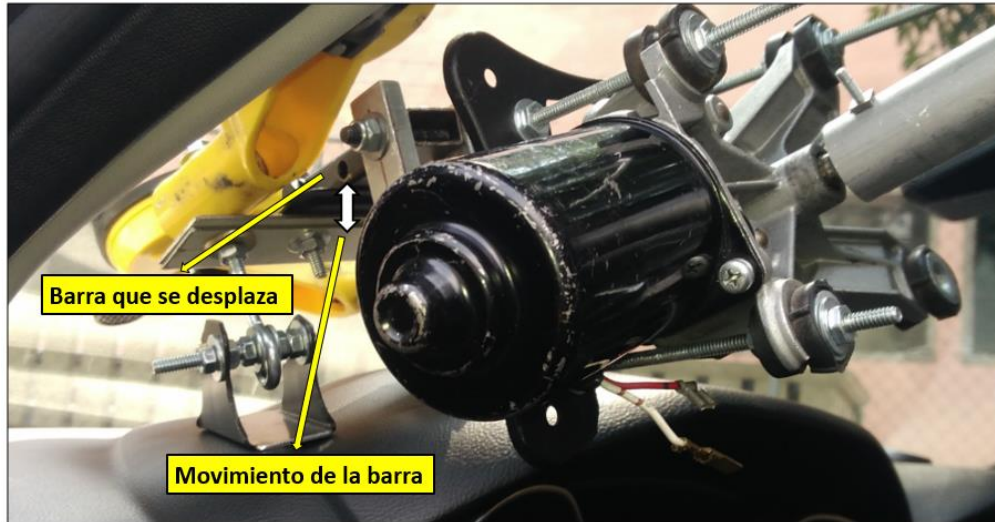
En la siguiente imagen se muestra el desplazamiento del conjunto del volante al girarlo en alguno de los dos sentidos.



**Imagen 3.7.2:** desplazamiento vertical del volante (fuente: fotografía propia)

De modo que, para darle firmeza sin perder la capacidad de absorber este movimiento, se siguió fortificando la zona de las ventosas, dejando relativamente libre el motor y el eje para tolerar esos desplazamientos del volante.

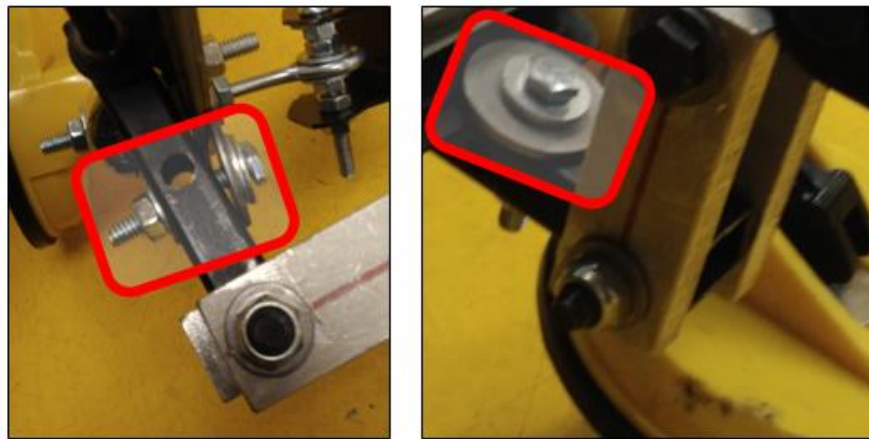
También se pudo observar como al cambiar de sentido de giro, una de las barras metálicas de la estructura de fijación se levantaba ligeramente para acomodarse mejor al nuevo movimiento, y cuando se volvía a cambiar el sentido volvía a bajar. Con ese movimiento los desplazamientos del conjunto eran mayores, por lo que había que encontrar la manera de eliminarlo. Ese movimiento queda mostrado en la siguiente imagen. La barra que se movía, es la que queda casi horizontal que une todo el conjunto con el sistema de ventosas.



**Imagen 3.7.3:** desplazamiento vertical de la barra metálica negra (fuente: fotografía propia)

Para evitar este movimiento y dar más firmeza al conjunto intentando mejorar los problemas descritos, se realizaron un seguido de modificaciones estructurales en el sistema de soporte.

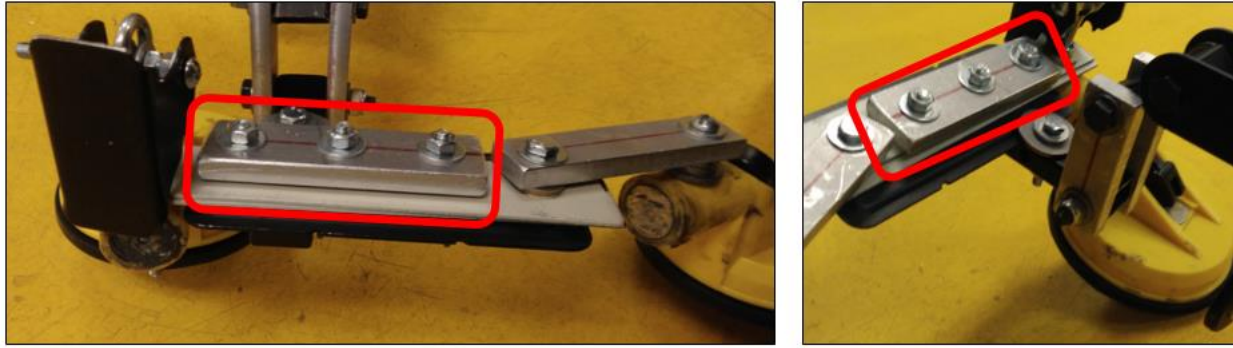
1. En primer lugar, para inmovilizar esa barra, se le hizo un barreno en el centro, y se puso un tornillo con una rondana que lo fijara en la posición deseada.



**Imagen 3.7.4:** fijación de la barra metálica (fuente: fotografía propia)

Tal y como se muestra en la imagen, la rondana ejerce fuerza contra la estructura impidiendo que la barra se pueda mover.

2. En segundo lugar, se añadió una barra de refuerzo a la estructura de ventosas, las ventosas van unidas al conjunto mediante la estructura de estantería. Este material de estantería, al ser tan delgado, generaba movimientos de pandeo durante el funcionamiento, favoreciendo la aparición de desplazamientos del conjunto. Para impedirlo se incorporó la barra de aluminio más gruesa, que se muestra a continuación.



**Imagen 3.7.5:** refuerzo de la estructura soporte (fuente: fotografía propia)

Con esa barra se esperaba conseguir mayor firmeza a la estructura y eliminar el leve pandeo del material de estantería.

Se incorporaron las modificaciones mencionadas con el fin de mejorar el conjunto y la calidad de su funcionamiento. Estas modificaciones, al ser pequeñas incorporaciones de material en la estructura no aumentaron el impacto visual del sistema.

Cabe comentar también que, en esta prueba, se volvió a romper uno de los pasadores del eje de motor. Posiblemente sucedió porque durante los ensayos cuando el volante llega al final de recorrido en alguno de los sentidos de giro. Hasta que el usuario que hace las pruebas no se da cuenta de ello, al eje se le exige seguir girando, aunque no se pueda por el final de carrera del volante. Durante ese instante de tiempo, los esfuerzos se incrementan considerablemente exigiendo a la estructura mucho más de lo que está preparada. Se cree que esta es la razón por la que el pasador, el eslabón más débil del conjunto, acaba por romperse. Será conveniente realizar simulaciones de esfuerzos por cálculo de elementos finitos para averiguar el problema.

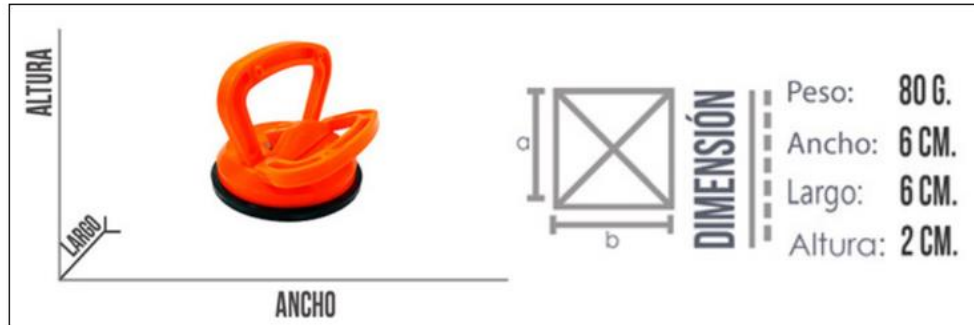
Este suceso descrito en el párrafo anterior, dejará de suceder una vez se le añada la electrónica al sistema para registro de posición del volante. Para ello se realizaron los 180 barrenos en el engrane de volante. Se establecerá un límite de giro, de modo que ya no se llegará a sobrepasar el final de carrera del volante y por tanto no se le exigirá un exceso de esfuerzo al conjunto en ningún momento.

Una vez editado el sistema se realizaron más pruebas de funcionamiento con las nuevas modificaciones.

De nuevo no se había mejorado mucho las prestaciones del equipo, se redujo el movimiento y deformación de la estructura de soporte, pero los desplazamientos seguían siendo elevados, se pudo concluir entonces que la causa del problema de los desplazamientos no era la falta de firmeza de la zona de sujeción de las ventosas. Había que encontrar entonces, una solución para la ventosa de la derecha, y para reducir los desplazamientos del engrane de motor.

Viendo que las soluciones que se habían aplicado no proporcionaron mejoras notables. Se retomó la idea de las nuevas ventosas.

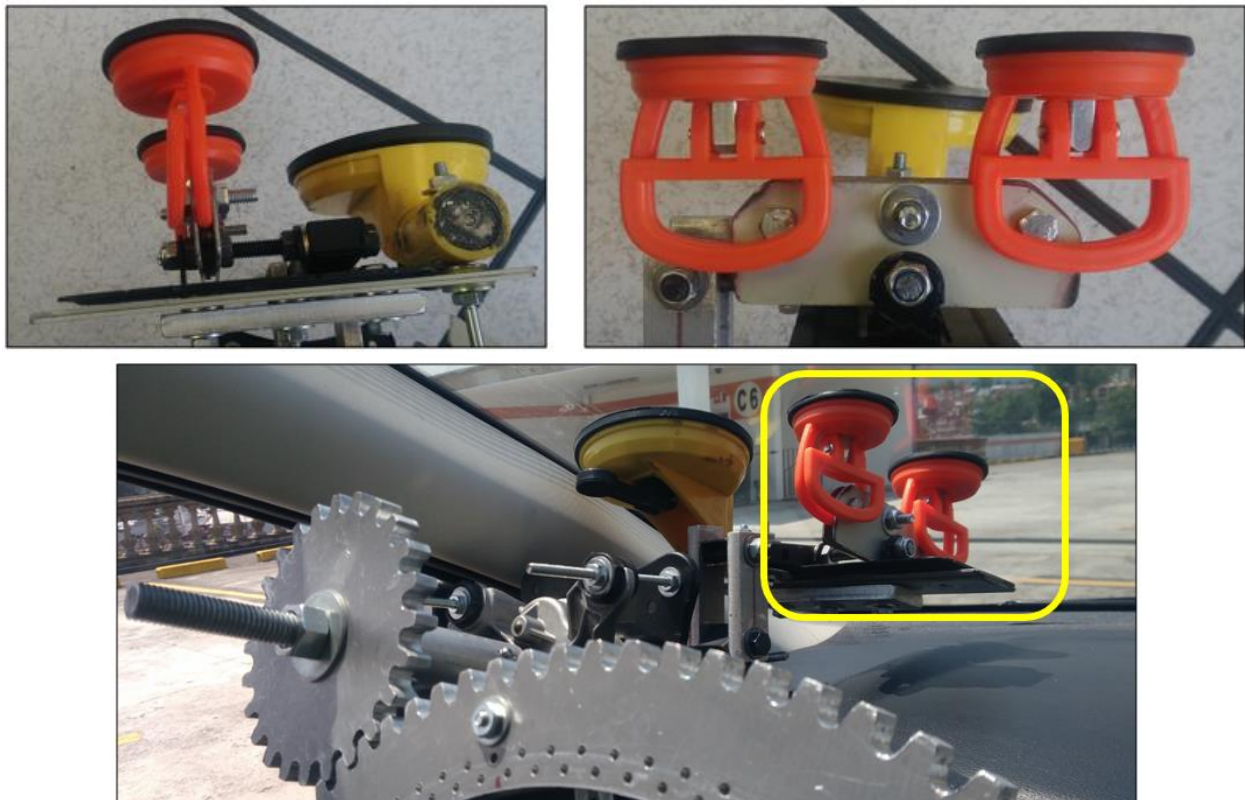
En la siguiente imagen se puede observar las dimensiones de las nuevas ventosas seleccionadas.



**Imagen 3.7.6:** dimensiones de las ventosas nuevas (fuente: mercado libre)

Para el nuevo set – up de fijación, se mantendría la ventosa izquierda con el punto de apoyo debajo, y en la derecha se incorporarían dos de estas ventosas de menor tamaño para sustituir la otra ventosa grande, su función principal sería impedir que el conjunto rotara en cuanto aparecieran esfuerzos.

Mediante el uso de la estructura sobrante de estantería se encontró una manera de acoplarlas al conjunto. Estas ventosas tal y como se observa en la imagen anterior, constan de dos brazos, uno fijo y uno móvil que es el que acciona la ventosa, la idea fue agarrar el brazo fijo mediante presión con dos chapas y dejar espacio al brazo móvil para poder activarlas. Fijándola de esta manera, debería ser suficiente para poder absorber los esfuerzos que se generarían al impedir la rotación del conjunto. En la siguiente imagen se muestra la nueva construcción.



**Imagen 3.7.7:** incorporación de ventosas pequeñas (fuente: fotografía propia)



Como se puede observar, las nuevas ventosas van fijadas al sistema mediante el mismo eje al que va acoplado las barras que sujetan el motor eléctrico. Estas quedarían en una zona bastante central del vidrio, pero el ser de menor tamaño el impacto queda reducido considerablemente.

Después de probar el nuevo set – up, si se consiguió arreglar el problema del acoplamiento de ventosas, estas se pegaban y resistían los esfuerzos generados sin problema.

Faltaba solucionar el problema de los desplazamientos. Durante las últimas pruebas estáticas de funcionamiento, se prestó atención al comportamiento de la estructura para intentar encontrar el punto débil del conjunto y por qué se generaban estos desplazamientos. En ese instante se pudo averiguar que, al girar el volante a la derecha, la estructura no absorbía bien los esfuerzos, el brazo de palanca desde la fijación al engrane era tal, que generaba un momento en una dirección poco ventajosa y el engrane motor se desplazaba hacia abajo. Posteriormente, al cambiar el sentido de giro el engrane volvía a su posición. En la siguiente imagen se muestra este suceso.

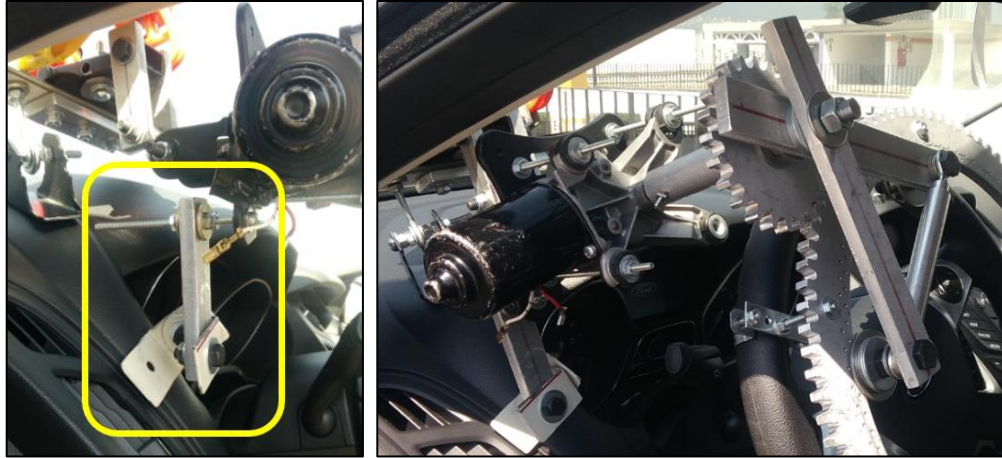


**Imagen 3.7.8:** desplazamiento engrane de motor (fuente: fotografía propia)

Las flechas amarillas de la imagen indican el sentido de giro de los engranes, cuando estos giran de esta manera, todo el conjunto del eje se desplaza tal y como indica la flecha roja, al estar los puntos de apoyo tan alejados y en posición desventajosa, el conjunto tiende a desplazarse.

En este caso se utilizó el mismo concepto utilizado ya para el soporte del peso del conjunto, no era necesario más fijaciones que actuaran de empotramientos como lo hacían las ventosas. Con añadir un componente que fuera simplemente apoyado y absorbiera ese esfuerzo sería suficiente.

Para ello otra vez, mediante el uso de material sobrante, se construyó un nuevo brazo. Este brazo iría acoplado en la misma placa en la que va acoplado el motor eléctrico, de esta manera al estar más cerca de los engranes, el brazo de palanca es menor, y al estar directamente conectado al motor, impide que se desplace el motor y el conjunto de su eje.



**Imagen 3.7.9:** nuevo brazo de apoyo (fuente: fotografía propia)

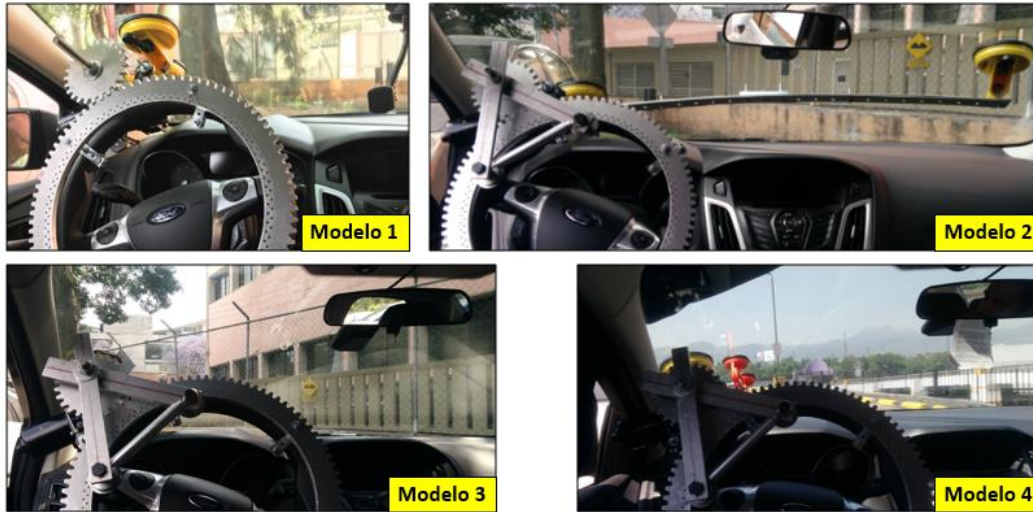
El nuevo brazo de apoyo está compuesto por una barra de aluminio atornillada a la placa de fijación del motor, esta barra está unida a un juego de pequeños trozos de estructura de estantería que se apoyan al salpicadero del coche. Este juego de trozos de estantería da al brazo la posibilidad de ajustarse a la inclinación del salpicadero para apoyarse correctamente e impedir los desplazamientos hacia abajo del motor y su eje.

Este brazo al instalar todo el conjunto debe ser la última cosa a ajustar, para que justo ejerza una ligera presión contra el salpicadero una vez está ya todo montado.

De nuevo el día 19/04/2018, se realizaron pruebas dinámicas del nuevo set – up, se obtuvieron buenos resultados. Las ventosas no se despegaron haciendo su función en todo momento, los puntos de apoyo mantuvieron el conjunto fijo, y fueron las primeras pruebas desde el inicio del proyecto, en que los desplazamientos eran mínimos, se habían reducido de manera relevante. Este hecho permitía una transmisión más segura y eficiente, esto ayudaría también a reducir daños por desgaste en los engranes.

A continuación, En la siguiente imagen se muestra una comparativa del impacto visual, visto desde el punto de vista del conductor, del nuevo modelo en relación a los modelos previos con el parabrisas como punto de sujeción.





**Imagen 3.7.10:** comparativa de modelos construidos (fuente: fotografía propia)

El modelo 1 de la imagen anterior, es el modelo inicial construido con el que se realizaron las pruebas de funcionamiento – 09/03/18. Se observa como una de las ventosas queda justo en medio del campo de visión del conductor, obstruyendo en exceso la visibilidad del mismo.

El modelo 2 con la estructura de estantería, se conseguía desplazar la ventosa a una zona menos intrusiva. Sin embargo, la barra de punta a punta del parabrisas se consideró demasiado voluminosa y poco conveniente, no se llegó a realizar pruebas con este modelo.

El modelo 3 es el que conlleva menos impacto visual, ya que se consiguió que todos los componentes quedaran detrás del motor y los engranes. Pero se tuvo que seguir modificando por inconvenientes de funcionalidad y estructurales detallados en el apartado 3.7.

El modelo 4, un poco más invasivo que el tres, pero necesario para mejorar otros aspectos de mayor prioridad, se eliminaron desplazamientos y reforzó la sujeción, mejorando la transmisión considerablemente.

Hasta aquí llega el desarrollo experimental del prototipo de control de dirección de este proyecto. En los siguientes apartados se detallan otros aspectos del proyecto como simulaciones computacionales de esfuerzos, las conclusiones de los resultados obtenidos, posible trabajo a futuro para seguir perfeccionándolo, etc.

## 4. Simulación computacional de esfuerzos (SolidWorks)

El procedimiento normal en este tipo de proyecto, sería hacer simulaciones computacionales de esfuerzos en el modelo o las piezas del modelo diseñado, y una vez comprobado que los materiales y dimensiones escogidas para cada pieza son correctas y van a resistir. Empezar con la construcción de un prototipo. La dificultad en este caso, es que al partir desde cero, el diseño CAD era muy simple y alejado del prototipo construido, además de que muchos de los componentes se construyeron durante el análisis, observando experimentalmente las necesidades para el correcto funcionamiento del prototipo.

Por lo que, en este caso, se empezó por construir y estudiar el sistema experimentalmente, y una vez conocidos los componentes críticos. analizarlos mediante simulaciones para ver, que tan cerca de sus propiedades límite trabajan y cambiar el diseño o material del componente si fuera necesario. Para así, aumentar o generar un factor de seguridad y evitar posibles roturas.

### 4.1. Rueda dentada de motor

Uno de los elementos que se analizaron fueron los engranes. Durante los meses de análisis en ningún momento se llegó a romper ninguno de los dientes, de hecho, con los cálculos realizados manualmente en los anexos, se puede comprobar que siendo de aluminio, en principio estos trabajan con esfuerzos por debajo del límite elástico. Aun así, se quiso hacer la simulación para verificar que realmente esto era así, que se trabajaba por debajo del límite elástico con un buen margen de seguridad, y que los cálculos manuales daban una aproximación buena y parecida a los resultados de la simulación.

Lo que se hizo fue realizar estudios estáticos, sería algo así como tomar una fotografía durante el funcionamiento del sistema, y ver los esfuerzos que se generan durante ese instante de tiempo.

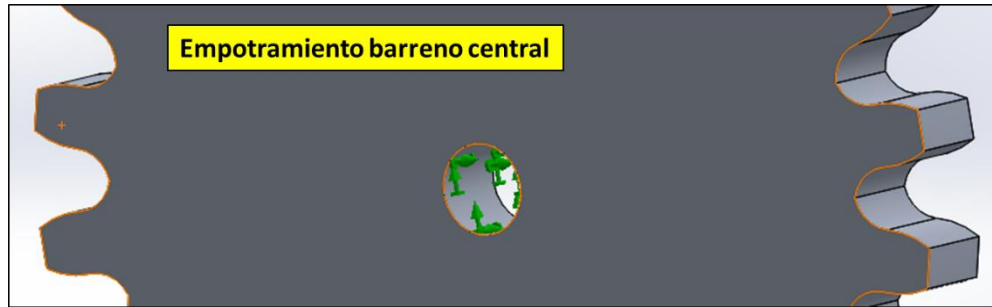
Para simular de manera estática lo mejor posible lo que pasaba en la realidad de manera dinámica. Se hizo varios estudios con distintos puntos de fijación y puntos de aplicación de los esfuerzos. En las siguientes líneas se va presentar algunos de los resultados que se consideraron más representativos.

Se escogió el engrane de motor para realizar el estudio. Es indiferente, porque ambos engranes reciben la misma fuerza y tiene el mismo perfil de diente.

Para hacer una buena simulación de la realidad, hay que ponerse en el punto de vista del engrane, para interpretar lo que este recibe. En el caso que se ocupa se creyó que una buena representación sería con las siguientes condiciones:

- Punto de fijación:

Como punto de apoyo, se aplicó un empotramiento en el barreno central, ya que de hecho tal y como va montado en la realidad es una buena manera de representarlo.

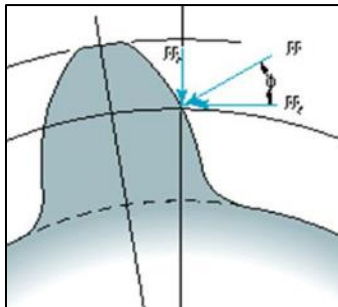


**Imagen 4.1.1:** empotramiento del barreno central del engrane (fuente: fotografía propia)

- Punto de aplicación de esfuerzos:

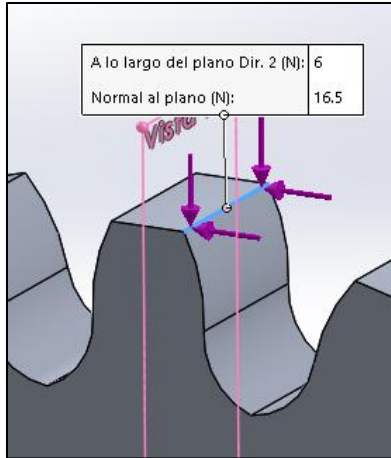
Si los dientes están bien contruidos y diseñados, la intención era que el ángulo de presión fuera de 20 grados, por lo general este ángulo es de 20 y 25 (ángulos normalizados), y así se consideró para la simulación (20 grados). Se requiere un torque para mover el volante de 3.2Nm, eso realizando los cálculos adecuados, comporta un torque de 0.91Nm en el eje motor. Que equivale a una fuerza tangencial de 16.5N en la cresta del diente. El punto de apoyo es lineal a lo largo del ancho de cara del diente, y se consideró una carga repartida de manera uniforme. El punto de apoyo en realidad, se desplaza por la cabeza del diente con el movimiento de los engranes, se realizó el estudio en la cresta por ser el punto más desfavorable.

16.5N es la fuerza necesaria para generar el torque para mover el volante. Al haber ese ángulo de presión durante el contacto entre engranes, aparece una fuerza en dirección radial a compresión de 6.0N que también se incluyó en la simulación, aunque su efecto en el resultado es mínimo por ejercer un esfuerzo de compresión.



**Imagen 4.1.2:** componentes radial y tangencial de la fuerza (fuente: slideplayer)

En la siguiente imagen se muestra las fuerzas aplicadas en la cresta del diente.

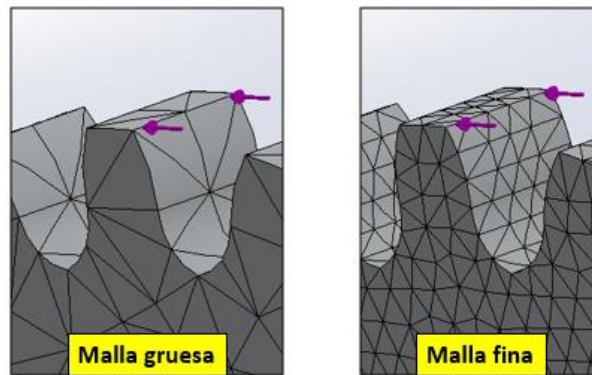


**Imagen 4.1.3:** fuerza aplicada en la cresta del diente, torque de 0.91Nm (fuente: fotografía propia)

- Generación de la malla:

La malla se necesita para definir los puntos en los que se va a calcular los esfuerzos (nodos de la malla), en este caso era necesario generar una maya fina, para que el diente tuviera varios nodos y quedara bien representado, de esta manera los resultados darían un estudio detallado del comportamiento de esa parte del engrane.

En la siguiente imagen se muestra la diferencia entre una malla fina y una gruesa, la fina, por el motivo descrito, es la que se utilizó para el estudio.



**Imagen 4.1.4:** mallado de la pieza de estudio (fuente: fotografía propia)

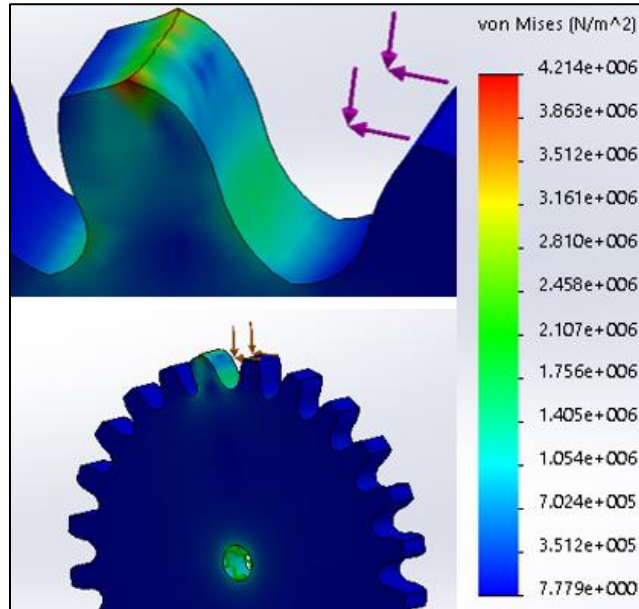
- Resultados:

Para los resultados lo que se ha hecho es comparar el límite elástico del material con los cálculos que el SolidWorks realiza de la tensión de Von Mises.

La tensión de Von Mises, es una magnitud física proporcional al aumento de energía interna acumulado en el interior de un sólido deformable, como resultado del trabajo realizado por las fuerzas que provocan la deformación. En ingeniería estructural, se usa en el contexto de las teorías de fallo, como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. Como en este caso se está utilizando aluminio, se considera que va a dar una buena aproximación de la realidad.

Se conocen como teorías de fallo elástico o criterios de fallo elástico, a los criterios usados para determinar los esfuerzos estáticos permisibles en estructuras o componentes de máquinas.

En la siguiente imagen, quedan mostrados los resultados obtenidos para la simulación con las características detalladas en los párrafos anteriores.



**Imagen 4.1.5:** resultados 1: fuerza aplicada en la cresta, torque 0.91Nm (fuente: fotografía propia)

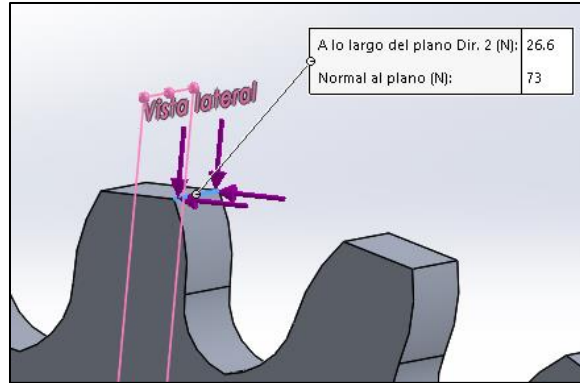
Como se puede observar en el rango de la escala de esfuerzos de Von Mises, la zona roja (zona más crítica), que solo aparece en las esquinas de la cresta del diente, recibe una tensión de alrededor de  $4.214 \times 10^6$  N/mm<sup>2</sup>, eso equivale a 4.2MPa. Teniendo en cuenta que se está trabajando con aluminio 6061 – T4 con un límite elástico de 227MPa.  $4.2 < 227$  MPa, se puede concluir que en esta simulación este material trabaja con un gran margen de seguridad, y por tanto el material seleccionado es adecuado para la situación.

En los cálculos manuales adjuntos en los anexos, se estudió la situación con un torque de 1.133Nm, en vez de 0.91Nm. Dejando así un margen de seguridad. Aun así, también daba valores de esfuerzos del mismo orden.

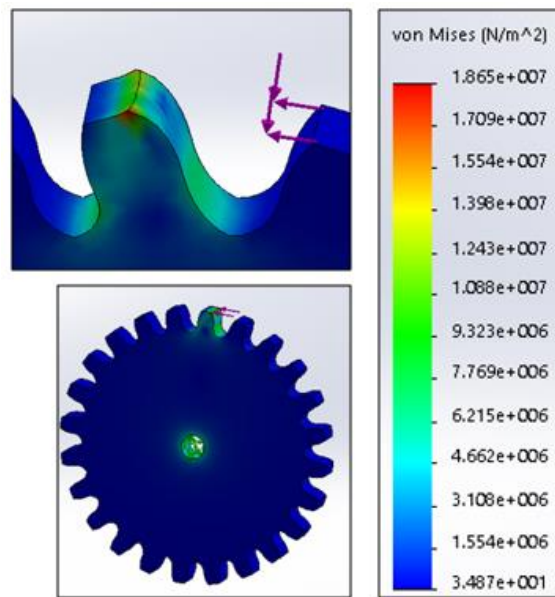
Posteriormente, se realizó otro análisis, para estudiar también el caso de que el motor este transmitiendo torque máximo de 4Nm. Esto, puede ocurrir por ejemplo en caso de que el volante haya llegado al final de recorrido de giro, pero el motor por algún motivo siga exigiendo girar hacia ese sentido de giro. En ese caso que ya no puede girar más, el motor transmite al engranaje este máximo esfuerzo de 4Nm.

Se estudió esta situación porque puede ocurrir mientras el movimiento de giro no esté limitado y además es la situación más crítica en la que se puede encontrar el engranaje. Para simular este nuevo torque, las fuerzas radial y tangencial pasan a ser de 26.6N y 73N respectivamente, en vez de 6N y 16.5N donde se simulaba un torque de 0.91Nm.





**Imagen 4.1.6:** fuerza aplicada en la cresta del diente, torque de 4Nm (fuente: fotografía propia)



**Imagen 4.1.7:** resultados 2: fuerza aplicada en la cresta, torque 4Nm (fuente: fotografía propia)

Como era de esperar las zonas de mayor esfuerzo están localizadas en las mismas partes del diente que en el caso de los resultados 1, pero con magnitudes de esfuerzo superiores, en este caso llega hasta 18.7MPa. Aun y que llegara a pasar esta situación, sigue habiendo un gran margen de seguridad en comparación con el límite elástico del material. La base del diente es otra zona de concentración de tensión que cabe comentar, como se puede observar los esfuerzos en esa zona son de alrededor de 10MPa, aun inferiores que en la cresta del diente.

- Conclusión:

De este estudio realizado se concluye que el aluminio trabaja correctamente con el rango de esfuerzos que se ocupan en este proyecto, por lo que cumple los requisitos de rigidez para el trabajo. Aun así, como ya se comentó anteriormente, con el aluminio hay el problema del desgaste acelerado por ser un metal demasiado blando (baja dureza). Por este motivo, se muestra en la siguiente tabla, diferentes materiales típicos de diferentes industrias, que podrían resistir los esfuerzos igualmente, y además con un desgaste menos acelerado.

**Tabla 4.1.1:** Propiedades de materiales para construcción de engranajes

| <i>Máximo esfuerzo en las simulaciones</i>     | <b>18.7MPa</b>               |
|--|------------------------------|
| <i>Material</i>                                | <b>Límite elástico (MPa)</b> |
| <i>Plásticos de impresión 3D</i>               |                              |
| <i>ABS</i>                                     | 50 – 70                      |
| <i>PLA</i>                                     | 60 – 80                      |
| <i>Aluminio puro blando</i>                    | 10 – 35                      |
| <i>Aluminio puro endurecido</i>                | 110 – 170                    |
| <i>Aluminio 6061 – T4</i>                      | 227                          |
| <i>Aluminio 6061 – T6</i>                      | 275                          |
| <i>Nylon 6/10</i>                              | 143                          |
| <i>Aceros AISI SAE típicos para engranajes</i> | 300 – 1500                   |

Información extra sobre los materiales mencionados:

- Aceros AISI-SAE

La norma AISI (también conocida por ser una clasificación de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos). Es la más común en los Estados Unidos. AISI es el acrónimo en inglés de “American Iron and Steel Institute” (Instituto americano del hierro y el acero), mientras que SAE es el acrónimo en inglés de “Society of Automotive Engineers” (Sociedad de Ingenieros Automotores).

En 1912, la SAE promovió una reunión de productores y consumidores de aceros donde se estableció una nomenclatura y composición de los aceros que posteriormente AISI expandió. En este sistema los aceros se clasifican con cuatro dígitos. El primero especifica la aleación principal, el segundo indica el porcentaje aproximado del elemento principal, y con los dos últimos dígitos se conoce la cantidad de carbono presente en la aleación.

- Aluminio 6061

Al no saber con exactitud el tipo de aluminio de las planchas y barras cilíndricas usadas en el proyecto, se hizo todos los estudios considerando que el aluminio utilizado era el aluminio 6061 -T4, uno aluminio común en la industria. En este caso, la proporción de aluminio debe oscilar entre el 95,85 y el 98,56 por ciento, mientras que el resto de elementos de la aleación atiende a los márgenes establecidos en la siguiente tabla, sin que existan otros elementos (distintos a los señalados en la tabla) en proporciones superiores a 0,05% de forma individual, ni el 0,15% en total:

**Tabla 4.1.2:** composición del aluminio 6061

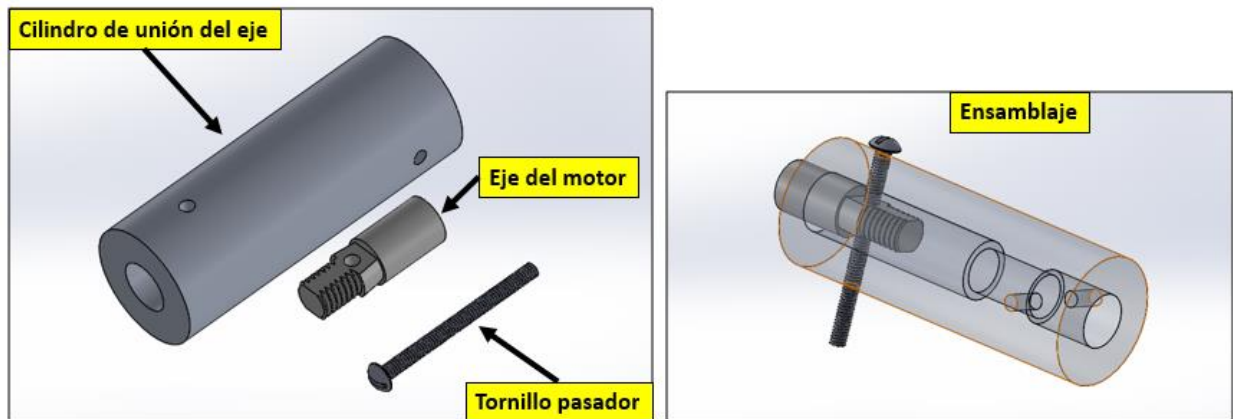
| ELEMENTO  | MÍNIMO (%) | MÁXIMO (%) |
|-----------|------------|------------|
| SILICIO   | 0,4        | 0,8        |
| HIERRO    | 0          | 0,7        |
| COBRE     | 0,15       | 0,4        |
| MANGANESO | 0          | 0,15       |
| MAGNESIO  | 0,8        | 1,2        |
| CROMO     | 0,04       | 0,35       |
| ZINC      | 0          | 0,25       |

**Fuente:** La información de las propiedades de los materiales. Se ha obtenido de los datos que tiene guardados sobre materiales el programa SolidWorks, utilizado para el diseño y las simulaciones de las piezas. O de documentos electrónicos sobre propiedades de materiales de la Universidad Politécnica de Cataluña.

#### 4.2. Pasador del eje motor

El tornillo pasador que se usa para transmitir el giro del motor hasta el engrane. También fue elemento de estudio. Ya que, durante el análisis de resultados, se rompió repetidas veces a lo largo de las pruebas realizadas.

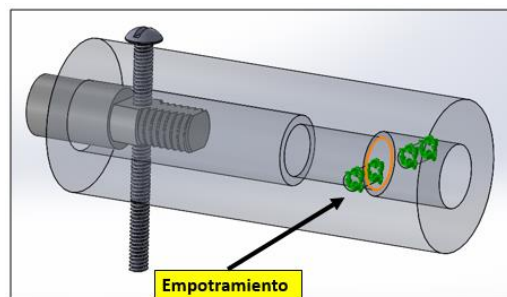
Se modelaron en CAD las distintas piezas que entraban en juego durante el funcionamiento. En la siguiente imagen se muestran tales piezas.



**Imagen 4.2.1:** piezas modeladas (fuente: fotografía propia)

- Punto de fijación:

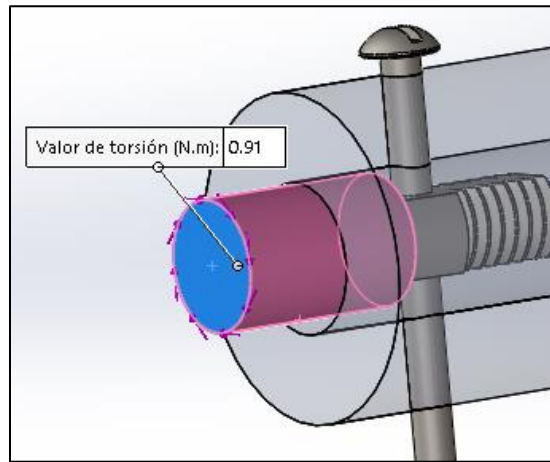
Para la simulación, se aplicó un empotramiento en el barreno donde iría metido el pasador que fija el otro lado del eje, ya que en la realidad ahí es donde se genera el esfuerzo resistente al giro del eje.



**Imagen 4.2.2:** punto de empotramiento (fuente: fotografía propia)

- Punto de aplicación de esfuerzos:

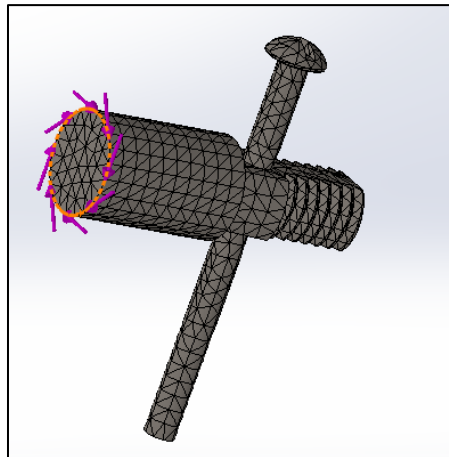
En este caso, en vez de descomponer el torque en fuerzas equivalentes, se aplicó el momento torsor directamente en el eje motor, tal y como sucedería en la realidad. El torque a estudiar sigue siendo el mismo, 0.91Nm.



**Imagen 4.2.3:** esfuerzo torsor aplicado, 0.91Nm (fuente: fotografía propia)

- Generación de la malla:

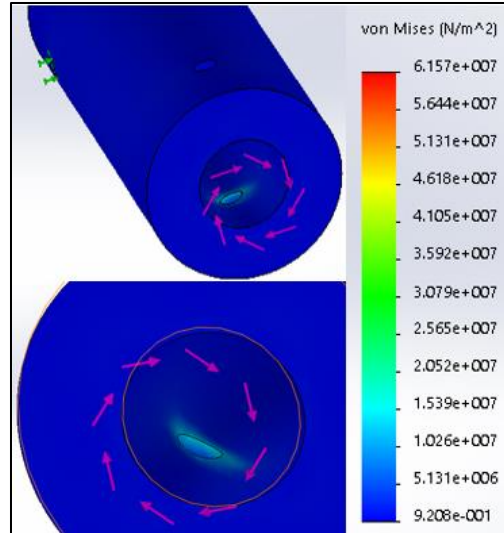
Para la malla, de nuevo era necesario hacerla fina, para poder estudiar en detalle lo que pasaba a lo largo del esparrago del tornillo pasador. Hubo problemas para generar tal malla debido a la rosca del tornillo, el programa no conseguía generarla correctamente, debido a que la pieza tenía detalles demasiado pequeños en su superficie. Por este motivo, se decidió eliminar la rosca en el tornillo y hacer la simulación como si fuera un cilindro con cara lisa. Este hecho alejaba levemente la simulación de la realidad, pero aun así daría una buena aproximación de los esfuerzos generados.



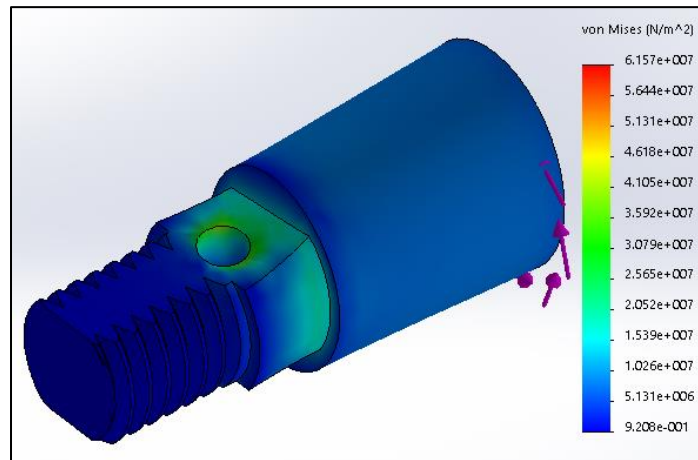
**Imagen 4.2.4:** malla fina generada, sin rosca en el tornillo pasador (fuente: fotografía propia)

- Resultados:

Se estudiaron las diferentes piezas por separado, los resultados de los esfuerzos se muestran a continuación. De nuevo, se usó la teoría de fallo de Von Mises para estudiar los esfuerzos.



**Imagen 4.2.5:** resultados 1: cilindro de unión, torque 0.91Nm (fuente: fotografía propia)



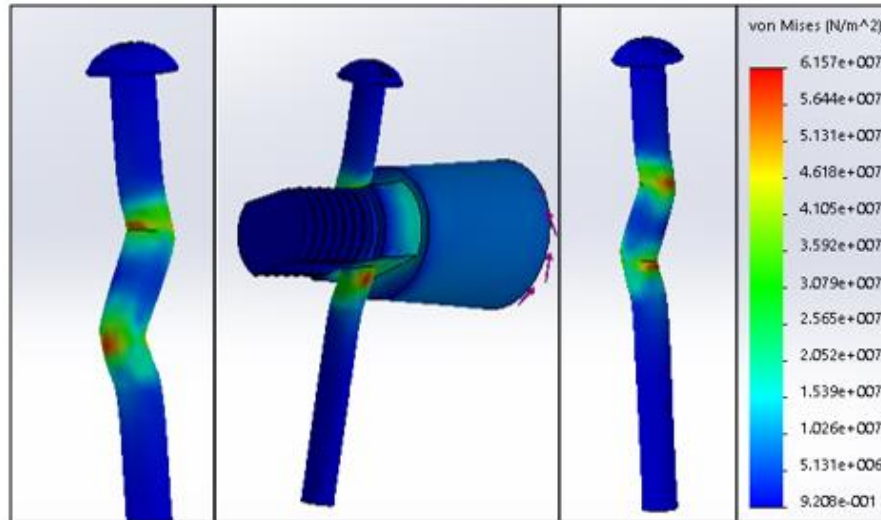
**Imagen 4.2.6:** resultados 1: eje del motor, torque 0.91Nm (fuente: fotografía propia)

Para estas 2 piezas mostradas en las imágenes anteriores, se observa que los mayores esfuerzos llegan a alcanzar los 30 – 40MPa. En principio por parte del cilindro de unión, aun y ser de aluminio al recibir este esfuerzo torsor de alrededor de 30MPa, no hay problema ya que el límite elástico es de 227MPa. Por otro lado, el eje de motor, este tipo de ejes típicamente están hechos de aceros como el SAE 4340, con un límite elástico de al menos 470MPa, según el tratamiento térmico puede aumentar considerablemente. Por lo que se concluye que también puede resistir los esfuerzos.

Si se simula la situación de torque de 4Nm en vez de 0.91Nm (situación más desfavorable, aplicación del torque máximo del motor), estos esfuerzos aumentan hasta 140 – 160MPa, en ese caso ambos componentes resisten igualmente con margen de seguridad suficiente.

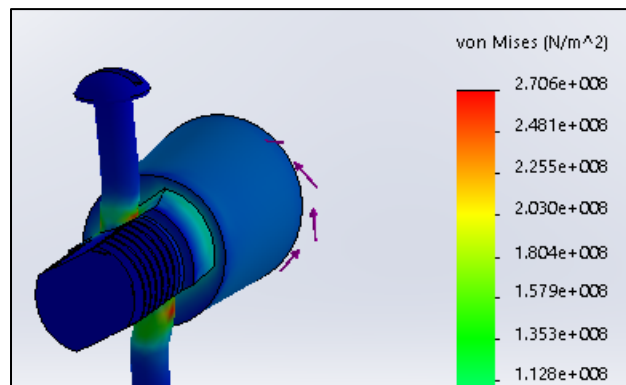
Para el caso del tornillo pasador los resultados de la simulación quedan mostrados en la siguiente imagen.





**Imagen 4.2.7:** resultados 1: tornillo pasador, torque 0.91Nm (fuente: fotografía propia)

Se observa en esta pieza un esfuerzo cortante mayor que en las otras por la situación de trabajo, la torsión generada por el eje de motor ejerce en el pasador esfuerzos cortantes que llegan a alcanzar valores de 62MPa. En el caso de que el torque fuera de 4Nm este valor sube hasta 270MPa, tal y como se muestra en la siguiente imagen.



**Imagen 4.2.7:** resultados 2: tornillo pasador, torque 4Nm (fuente: fotografía propia)

Los tornillos que se han estado usando en el sistema son de acero dulce galvanizado de grado 2 de bajo carbón. Para esta categoría de tornillo hay diferentes aleaciones de acero, estos están dentro del grupo de aceros AISI 1010 – 1050. No se sabe la aleación exacta, pero el límite elástico de estos suele estar dentro del rango de 180 – 420MPa. Algunos de estos aceros tienen un límite elástico inferior al esfuerzo exigido en esta simulación cuando el motor exige a la estructura su torque máximo de 4Nm. Este podría ser el motivo por el cual, se rompían los pasadores después de usarlos durante una cierta cantidad de tiempo. Cuando pasa esta situación de esfuerzo máximo, posiblemente se genere una rotura parcial, posteriormente, durante el funcionamiento normal una vez está parcialmente roto, el tamaño de las grietas va en aumento hasta la rotura total, donde se deja de transmitir el giro.

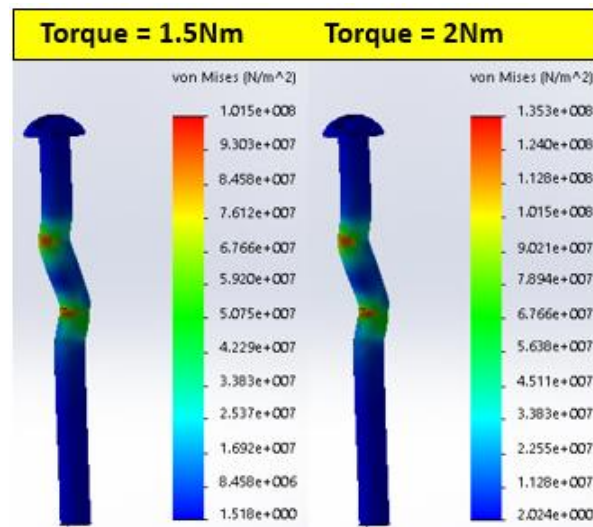
La primera solución que se propone para resolver esta situación, por ser la más rápida ya que comporta pocas modificaciones y más económicamente viable, es usar tornillos de grado 5 de medio carbón con

temple y revenido. Estos, según los valores encontrados en las tablas de propiedades, su límite elástico es de entre 280 – 625MPa. En este caso sería conveniente saber la aleación de acero exacta que se usa, para confirmar que su límite elástico es lo suficientemente elevado como para resistir sin problema 270MPa con un cierto margen de seguridad, que sería el esfuerzo que se genera en el sistema en el peor de los casos según el resultado de las simulaciones realizadas.

La segunda solución que se propone, posiblemente a la larga sería la más conveniente si se quiere seguir avanzando en el perfeccionamiento del proyecto, sería cambiar el motor por uno más pequeño. Durante la realización de las simulaciones se descubrió que hubo un error de cálculo para el dimensionamiento del motor, este error está explicado en el apartado de trabajo a futuro, en el último punto y los cálculos demostrativos están en el anexo 4. El hecho es que torque necesario en el motor para hacer girar el volante es de menos de 1Nm. Por lo que, si se tomara un nuevo motor de 2Nm de torque máximo, en ningún caso se llegaría a generar esfuerzos suficientemente elevados en los pasadores como para romperlos.

Se realizaron simulaciones con torques de 1.5 y 2Nm y los esfuerzos máximos que se generan en esas simulaciones son de 102 y 135MPa respectivamente. En ambos casos, estos esfuerzos son menores a 170MPa, por lo que con tornillos de grado 2 como los que se han estado usando debería funcionar correctamente sin romperse en todo momento.

En la siguiente imagen se muestra el rango de valores de los esfuerzos de Von Mises para los casos mencionados.



**Imagen 4.2.7:** resultados 2: tornillo pasador, torque 4Nm (fuente: fotografía propia)

## 5. Guía de instalación del sistema

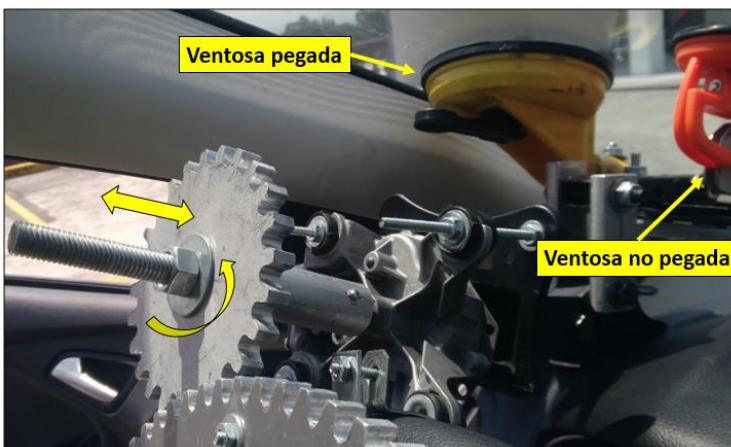
Después de haber estado trabajando en este sistema, el conjunto ha llegado a un nivel de complejidad, en que ya no es tan intuitivo el saber cómo instalarlo. Por ese motivo, en las siguientes líneas se va a describir el orden lógico para instalar el sistema, y quede bien ajustado para su correcto funcionamiento.

En primer lugar, es recomendable empezar por instalar el engranaje de volante, este es el único componente del sistema, que tiene una posibilidad única de instalación (mostrada en la siguiente imagen), por eso se debe empezar por ahí y utilizarlo como referencia para ajustar todo lo demás.



**Imagen 5.1:** Instalación de la rueda dentada de volante (fuente: fotografía propia)

Una vez instalada la rueda dentada, se toma todo el conjunto y se coloca en una posición aproximada en la que el engrane de motor, este más o menos a la altura del engrane de volante, se fija la ventosa grande y se aprieta el apoyo simple al que está conectado la ventosa, tal y como está explicado y mostrado en el apartado 3.6, imagen 3.6.6.



**Imagen 5.2:** conjunto de la ventosa grande fijado (fuente: fotografía propia)

Una vez la ventosa grande está pegada, se debe ir jugando por un lado con la posibilidad de trasladar el engrane de motor como se muestra en la imagen anterior, para que quede a la misma altura que el otro engrane. Por otra parte, con la posición de pegado de las ventosas pequeñas. Según se peguen más arriba o más abajo en el parabrisas, el conjunto queda con una inclinación u otra. Se debe buscar la posición en

la que los dos engranes queden en el mismo plano jugando con esas dos variables. Si fuera necesario se puede llegar a modificar la posición de las barras metálicas de la estructura de soporte para acabar de ajustar.

Para este último paso de ajuste del engrane, hay que prestar especial atención, ya que la transmisión del giro depende de ello, en la imagen siguiente se muestran el antes y después de ajustar los dos engranes en posición correcta.



**Imagen 5.3:** engranes ajustados en un mismo plano (fuente: fotografía propia)

Una vez el conjunto del motor está bien ajustado, se aprietan bien las tuercas de alrededor del engrane de motor para que no se suelte y transmita bien el giro, y ya se puede proceder a instalar el sistema de rodillos.



**Imagen 5.4:** instalación del sistema de rodillos (fuente: fotografía propia)

La tuerca que impide que el sistema de rodillos se salga del tornillo debe ir suelta, sin apretar demasiado para que las barras de los rodillos se puedan quedar en la posición correcta mientras el eje gira. Es importante asegurar también que los rodillos, es decir los valeros, están en contacto con el rail (el raíl es el diámetro interior del engrane de volante). A continuación, se comprueba observando lateralmente que todo haya quedado alineado correctamente como en la imagen anterior.

Llegados a este punto solo falta ajustar el apoyo simple que va acoplado a la placa de soporte del motor. Como se mencionó en apartados anteriores, se ajusta de manera que ejerce una ligera presión sobre el salpicadero.





**Imagen 5.5:** instalación del sistema de rodillos (fuente: fotografía propia)

Una vez hecho todo lo descrito en este apartado, el sistema mecánico de control de dirección queda instalado por completo, y debería tener una posición parecida a la que se muestra en la siguiente imagen.



**Imagen 5.6:** Sistema de control de dirección instalado (fuente: fotografía propia)



## 6. Impacto ambiental

En este apartado se va a realizar una descripción del impacto medioambiental que comportaría la implementación a gran escala de este tipo de tecnología.

La conducción autónoma de vehículos es una tecnología relativamente nueva, en el mercado existen diferentes niveles de asistencia al conductor mencionados en la introducción, pero aún no hay vehículos 100% autónomos (de nivel 5).

En la actualidad, más del 25% de los gases de efecto invernadero provienen del sector de transportes.

A continuación, se presentan puntos positivos y negativos de este tipo de tecnología:

### Ventajas

Este tipo de tecnología podría llegar a reducir el 90% las emisiones por trayecto, comparado con el tipo de conducción actual.

- La aceleración y frenado de vehículos se suavizaría y optimizaría reduciendo consumo en este tipo de acciones (conducción eficiente).
- La gran mayoría de accidentes suceden por causas humanas, por lo que, si no hubiera personas conduciendo, muchos de los sistemas de seguridad pasiva dejarían de ser necesarias (antibloqueo de frenos, airbags, etc). Si Tales sistemas dejaran de estar integrados en el vehículo, se reduciría el peso del vehículo reduciendo también el consumo. Además de que los accidentes conllevan un gran impacto contaminante hacia el medio.

### Inconvenientes

Este tipo de tecnología podría también aumentar un 200% las emisiones comparado con el tipo de conducción actual.

Las desventajas que se van a mencionar a continuación, tienen que ver con el tipo de uso que el usuario le da a este tipo de tecnología.

Básicamente el problema recae en el aumento del uso del automóvil. Muchas más personas podrían hacer viajes en coche, ya que no sería necesario saber manejarlo. Además, durante el trayecto el usuario ya no tendría que estar atento a la conducción, sino que podría dedicarse a otras tareas durante el viaje, aquí se mencionan algunos ejemplos:

- Una parte de los viajes que hasta ahora se dejaban de hacer por falta de tiempo se harían, ya que durante el trayecto el usuario puede centrarse en sus ocupaciones.
- En ciudades con precios muy elevados de aparcamiento, se podría dar el caso de usuarios que dejen el vehículo vacío dando vueltas por una zona hasta que este sea requerido de nuevo.
- La posibilidad de poder llevar personas incapaces de conducir por edad o algún tipo de discapacidad, aumenta ampliamente el abanico de personas que pueden utilizar este tipo de vehículo.

El impacto medioambiental de este tipo de vehículo en el mercado, es difícil de predecir en el presente, ya que depende de un número muy elevado de variables. En gran medida dependerá de las políticas de uso que se impongan para este tipo de tecnología. Ya que, por un lado, el tipo de conducción sería mucho más eficiente eso reduce la contaminación y por tanto reduce el impacto ambiental. Pero la comodidad y facilidad de uso de este tipo de vehículos, podría incrementar su utilización excesivamente aumentando la contaminación en este caso por un uso más repetido y frecuente del vehículo.

**Fuente de información:** los datos y la información redactada apartado 4 se obtuvieron de artículos científicos publicados por *National Renewable Energy Laboratory, USA*.

Página web: <https://www.nrel.gov/>

## 7. Conclusiones

En primer lugar, se pueden sacar unas conclusiones generales por el tipo de proyecto en el que se ha trabajado para realizar este informe. El objetivo final de este proyecto era construir un prototipo funcional a partir de unos antecedentes. Se partió des de un primer modelo el cual se quería mejorar en varios aspectos. La correcta organización de las tareas, mediante diagramas organizativos, fue algo esencial para que este prototipo se llevara a cabo con buenos resultados.

Se inició con el estudio de la situación del proyecto (antecedentes), así como el estado del arte del tipo de tecnología con la que se iba a trabajar.

Basándose en lo analizado y la experiencia de los componentes del equipo se generaron posibles modelos (lluvia de ideas), para el nuevo sistema de control. Una vez concluidas las ventajas e inconvenientes de estos según los requisitos y limitaciones impuestas para el sistema, se modeló un diseño final a partir del cual se basó la construcción del prototipo inicial.

Una vez se tuvo una base con la que trabajar, inicializó la etapa de prueba – error. En ella se iban realizando pruebas, de esas pruebas se sacaban conclusiones, según el criterio de los integrantes del grupo de trabajo, en cuanto a los inconvenientes a solucionar y las posibles mejoras a aplicar en el sistema, de estas conclusiones se probaban las nuevas mejoras y volvía empezar el ciclo. De modo que se estuvo iterando hasta llegar a unos resultados que se pudieran considerar satisfactorios teniendo en cuenta recursos, tiempo y capacidades disponibles.

Finalmente, para calcular los márgenes de seguridad con los que todo el conjunto trabajo, respeto a límites de resistencia de los materiales utilizados. Es necesario también realizar simulaciones de esfuerzos, en este caso se tubo que estudiar incluso el motivo de rotura de alguna de las piezas, esto es parte del análisis de los resultados para seguir perfeccionando el modelo. Con estas simulaciones se estudian y analizan aspectos que no se pueden saber solo trabajando experimentalmente.

De todo ello se concluye por tanto la importancia de la correcta organización de las tareas a realizar, y del grupo de trabajo, de reportar todo lo sucedido para justificar el resultado final y poder transmitir la experiencia recibida, y la importancia de estar preparado a enfrentar cualquier imprevisto o complicación, ya que cuando se está realizando un proyecto de investigación los resultados y conclusiones, frecuentemente llegan a ser inesperados.

Cabe resaltar que, en relación a organización hubo un pequeño fallo. El hecho de haber dejado las simulaciones de esfuerzos para el final, comportó obtener la información de los resultados al último momento, y por tanto no se pudieron aplicar las soluciones y descubrimientos extraídos de esos análisis. Por ello, la información extraída de las simulaciones quedará descrita en el apartado de trabajo a futuro para tenerla en cuenta en futuros avances del sistema.

En segundo lugar, en cuanto al tipo de tecnología que se ocupa en este proyecto, cabe resaltar que no hay margen de error. La conducción autónoma y asistencia a la conducción son mundos en que se deja la vida de las personas a cargo de la mecánica y la electrónica. Por lo que esta maquinaria debe ser capaz de lidiar con cualquier situación a la perfección. Los estudios deben ser detallados y bien justificados, es por este motivo que el bloque más relevante del informe es el análisis de resultados. Donde se fueron

resolviendo todos los pequeños detalles que iban surgiendo, para que el margen de error fuera el mínimo y el sistema quedara lo más eficiente y óptimo posible. Este proyecto está pensado para la investigación estudiantil, pero aun así el grupo de trabajo se pudo hacer una idea de la dificultad de llevar un producto nuevo al mercado cumpliendo con todos los requisitos de funcionalidad y seguridad exigidos.

Si realmente se quisiera llevar un producto de este tipo al mercado, se tendría que invertir también, mucho más tiempo en el desarrollo del diseño del modelo, teniendo en cuenta todas las variables necesarias, para que el producto pueda satisfacer a un amplio mercado. Y hacerlo de manera que se pudiera asegurar una funcionalidad y seguridad de casi 100% durante un tiempo determinado (vida útil del sistema). En este proyecto como el objetivo era acabar generando un producto funcional, se tuvo que invertir la gran mayoría de tiempo en construirlo y hacerlo funcionar.

Finalmente, en relación al sistema diseñado planificado y construido, la conclusión es que se llegó a obtener un resultado dentro de lo que se esperaba conseguir. Inicialmente había un sistema funcional, aunque con algunos problemas de transmisión, y que analizando aspectos de seguridad y el nivel intrusivo del mismo, requería cambios y mejoras.

Seguridad: en relación a la seguridad, en un principio con el sistema de control de dirección anterior. Por un lado, el sistema de seguridad activa de las bolsas de aire quedaba inutilizado, tanto para el piloto como el copiloto. Además, algunos de los componentes del sistema quedaban posicionados de manera totalmente expuesta a los integrantes del vehículo. Por lo que, si llegara a ver un accidente, fácilmente estos componentes podrían llegar a entrar en contacto directo y lesionar gravemente a los usuarios. Con el nuevo conjunto diseñado, todas las bolsas de aire quedan libres para su correcto uso y función (en teoría, habría que realizar pruebas de activación de airbag para confirmarlo). El nuevo prototipo se encuentra mucho más apartado, con un volumen más reducido, y alejado de los integrantes del vehículo. Gracias a eso, en caso de accidente las bolsas de aire llegarían a evitar que el conductor entrara en contacto con alguna de las partes del prototipo.

Nivel invasivo e intrusivo: en cuanto al nivel de intrusión, lo podríamos definir como la molestia que genera a los sentidos de los integrantes del vehículo. Con el sistema de control anterior, el problema principal era de ocupación de espacio, ocupaban buena parte de las cabinas tanto del piloto como del copiloto, especialmente del copiloto, ya que una vez instalado el sistema, el copiloto no se podría sentar correctamente, ni de forma segura. Para solucionar eso, se optó por buscar zonas del interior del vehículo poco accesibles y en desuso. Finalmente se posiciono en la zona de la esquina inferior izquierda del parabrisas, ya que había espacio suficiente sin ocupar. El inconveniente de esta opción fue el impacto visual, al ir pegado al vidrio frontal el sistema obstaculiza la visión. Después de estudiar y analizar posibilidades, se consiguió que este impacto fuera el mínimo posible, como para que no se llegara a considerar una molestia excesiva.

Funcionalidad: por último, la funcionalidad del primer modelo, era correcta ya que se conseguía girar el volante, pero la frecuencia de falla era bastante elevada. El hecho de usar una cadena que no estaba del todo bien dimensionada para el sistema, solía generar una transmisión poco fiable. Mediante el uso de los engranajes, junto con el sistema de rodillos que los mantiene engranados en la posición correcta en todo momento, se consiguió mejorar la fiabilidad y eficiencia de la transmisión. Funcionando correctamente aun y con las vibraciones que se generan durante la marcha del vehículo. El inconveniente de la rotura del eje, se podrá solucionar en un futuro, ahora que se sabe la causa de su rotura. Aplicando por ejemplo alguna de las soluciones propuestas.

El resultado, por lo tanto, se considera y concluye que teniendo en cuenta el tiempo, recursos y capacidades con las que se contaban, ha cumplido las expectativas de rediseñar mecánicamente un sistema de control de dirección con mejores prestaciones que el sistema antecesor. Aun así, hay aspectos a mejorar que se dejaron detallados en el apartado de trabajo a futuro.



## 8. Trabajo a futuro

En este apartado, se va a proceder a detallar los aspectos a trabajar en el futuro para seguir perfeccionando este sistema, sin tener en cuenta la posibilidad de trabajo para juntar este con los otros proyectos de ADMAS, como podría ser combinar este proyecto con el de control de pedales, o con la programación para dirigir ambos sistemas a la vez.

En este proyecto, la intención fue construir un prototipo mecánico para el control de la dirección. Una vez diseñado y construido un primer modelo. Si se quiere profundizar y avanzar en el concepto de este sistema se puede pasar a la fase de construcción final de un sistema lo suficientemente seguro y funcional, como para probarlo en vías públicas. Habría que mejorar varios aspectos del prototipo presentado:

- **Diseño:**  
Para el diseño del sistema, al tener poco tiempo, se hizo a partir de una breve investigación de empresas punteras, y de la experiencia de los integrantes del grupo de trabajo. Para optimizarlo, sería necesario profundizar en el análisis de las variables de interés que puedan afectar. Hacer estudios de mercado, tener en cuenta opiniones públicas mediante encuestas, contactar con empresas punteras en el sector para poder obtener información sobre su experiencia, etc. Esto podría comportar grandes cambios en el sistema, pero si se quiere llegar a perfeccionar y optimizar el prototipo, es un primer paso necesario a realizar en el futuro.
- **Engranajes:**  
Para construir las ruedas dentadas del prototipo, se escogió aluminio por su facilidad de mecanizado, baja densidad y por tanto poco peso. Después de realizar los cálculos y simulaciones pertinentes, se comprobó como para el proyecto que se ocupa, este material podía soportar los esfuerzos generados. Sin embargo, al ser un metal blando y además una transmisión por engranajes abierta, en la que no hay protección contra la contaminación, ni lubricación. El desgaste de los dientes es muy acelerado.  
Por este motivo una de las tareas, sería analizar los materiales típicos para engranes en el mercado y seleccionar uno adecuado teniendo en cuenta el presupuesto, las prestaciones mecánicas necesarias para el sistema, etc. En el apartado 4.1 de simulación de esfuerzos para el engranaje, se adjuntó una tabla con materiales que se podrían estudiar más en detalle para comprobar, si realmente pueden ser una buena sustitución del aluminio.  
La simulación realizada, fue una simulación estática, con la que da una idea de los esfuerzos cortantes generados en el modelo. Sin embargo, ya que esto es un sistema que en la realidad es dinámico en condiciones de funcionamiento. Se tendría que hacer también estudios de fatiga de las piezas. Para averiguar la vida útil del modelo asegurando que no se romperá en ningún caso, si se hace un uso correcto de este.

En relación a los engranajes, el diseño de los dientes fue de un perfil de diente evolvente estándar. No se pudo invertir mucho tiempo en el diseño del diente por falta de tiempo, básicamente se consideró que como los esfuerzos a soportar son pequeños, y la velocidad de giro baja, sería adecuado usar dientes relativamente grandes. De esta manera también, se consigue mantener una transmisión correcta aun habiendo desplazamientos y deslizamientos entre engranajes. En

este aspecto del diseño del diente, se tendría que entrar más en detalle, tener en cuenta todas las variables para diseñar un tipo de diente óptimo para simular lo mejor posible la conducción humana.

- Sistema de soporte:

Inicialmente, el sistema de soporte tenía unas características, y después de todo el análisis de mejora y modificación, se le fue añadiendo y extrayendo partes y componentes. Hasta llegar un punto en que hiciera la función deseada de la mejor manera posible. Por lo que finalmente, el sistema de soporte acabo con unas características físicas algo diferentes al inicio, como se partió siempre desde el modelo inicial, el sistema acabo con varias capas extra de material y barras de ajuste. Para reducir y optimizar la estructura, ahora que ya se sabe todo lo que es necesario para funcionar correctamente y lo que no, se podría construir de cero. De manera que en vez de tener tantas capas de material y partes de ajuste. Seleccionar un diseño y material que pueda aportar lo mismo que el sistema actual o parecido, pero con mayor simplicidad estructural (menos capas de material en la base de las ventosas, y menos barras de ajuste de posición entre las ventosas y el motor si fuera posible).

- Sistema de transmisión (eje del motor):

Para la transmisión del movimiento giratorio del motor a los engranes, también hubo una evolución. El modelo último del prototipo, acabo siendo un eje no alineado con un pequeño margen de libertad de movimiento y fijado mediante unos pasadores. Estos pasadores no pudieron ser de mayor diámetro porque el eje del motor era demasiado estrecho, y por tanto no se podía hacer un barreno más grande, por lo que, si se le exige demasiado esfuerzo o muy duradero estos pasadores pueden acabar rompiéndose, la prueba de ello está en las simulaciones realizadas. En el caso del prototipo era de alguna manera beneficioso, ya que, si había alguna anomalía en el funcionamiento, y se le exigía al sistema más esfuerzo de lo normal durante alguna de las pruebas. La pieza que se rompía en primer lugar era el pasador, protegiendo al resto del conjunto, de modo que de alguna manera actuaba de fusible de protección del prototipo.

Si se avanza en el desarrollo del modelo sería necesario encontrar un sistema de transmisión que no se rompiera fácilmente. Para ello, si se tuvieran recursos necesarios para conseguir una alineación de todo el conjunto del eje lo suficientemente buena, una opción sería soldar el conjunto del eje o pegarlo con resina epoxi para metales, resina como la que se usó para el interior del mango de las ventosas. De esta manera ya no se perdería la transmisión de giro. Este requisito es necesario si se quiere usar este tipo de tecnología en vías públicas. Ya que no es tolerable en cuanto a seguridad, que en cualquier momento durante el funcionamiento pueda dejar de transmitir el giro y por tanto deje de funcionar el sistema.

En el apartado 4 se proponen otras soluciones para el eje, manteniendo el sistema de pasadores, pero con pasadores más resistentes o un motor más pequeño. De cualquier manera, para determinar la vida útil de los pasadores o del conjunto del eje una vez se haya modificado el eje para solucionar el problema de rotura de los tornillos. Se deben realizar simulaciones de fatiga del conjunto, ya que este sistema es dinámico en condiciones de funcionamiento normal, y es la fatiga lo que debilita los componentes del eje hasta llegar a la rotura.

- Sensor de posición de giro (electrónica):

Este proyecto, como ya se ha mencionado anteriormente, se centró en el rediseño mecánico del sistema. Una vez ya se tiene la base mecánica, se puede empezar a incorporar la parte electrónica de sensores y demás, para controlar y limitar el sistema dentro de los movimientos deseados para el caso ocupado.

Uno de los componentes electrónicos a añadir es el sensor de posición de giro de los engranes (sensor de luz). Para ello se realizaron en la CNC los 180 barrenos, con este sistema cada vez que el sensor pase por una de las perforaciones el sistema lo entenderá como un avance de 2 grados de giro, este sensor podría ir acoplado en el espacio que hay entre el engrane de volante y la barra metálica del sistema de rodillos.

Por una parte, esto es necesario para tener controlada la posición del volante en todo momento. Por otra, para impedir que el conjunto pueda llegar a sobrepasar el final de carrera del volante. Ya que, si se sobrepasa, se le puede llegar a exigir esfuerzos más elevados de lo que puede resistir, y por tanto se podría llegar a romper alguno de los componentes, tal y como quedó demostrado en las simulaciones de los pasadores.

- Selección del motor eléctrico:

Cuando se realizaron las simulaciones de esfuerzos en SolidWorks, se descubrió que desde un inicio, se había arrastrado un error de concepto en cuanto a teoría de engranajes, que comportaba un seguido de consecuencias y posibilidad de modificaciones. Esta información quedará detallada en las siguientes líneas.

El error fue creer que si se necesita 3.2Nm de torque para hacer girar el volante, entonces el motor también debe tener un torque de al menos esa magnitud para que el sistema funcione, y por eso se compró un motor de 4 Nm, tal y como está explicado en el apartado 2.4 del informe.

Sin embargo, esto no es así, el torque no es la variable que es igual para ambos engranes sino la fuerza aplicada al diente. El torque necesario del motor, está afectado directamente por la relación de transmisión de los engranajes. Hay que tener en cuenta que esta la relación varía ligeramente porque los engranes no están siempre en contacto a la altura del diámetro primitivo. De modo que, en este caso, si el torque necesario para mover el volante es de 3.2Nm, y la relación de transmisión es de 3.75, en realidad el torque que se le exige al motor es de 0.85Nm, (se debe dividir el torque de volante por la relación de transmisión cuando la zona de contacto está a la altura del diámetro primitivo). En el caso de estar en contacto en la cresta del diente, como se estudió en las simulaciones la relación varía un poco, (proporcional a la variación de las distancias), y el torque pasa a ser de 0.91Nm, este es en teoría el torque necesario en el caso más desfavorable.

De todo esto se concluye que el motor está sobredimensionado, y que, por tanto, si se escoge uno de menor tamaño habrá muchas ventajas (una buena primera opción sería probar con uno de 1.5 - 2Nm y de 150 – 200rpm, con estas características en principio, se tendría torque suficiente y se podría realizar giros más rápidos). Algunas ventajas serían la reducción de peso, fuentes de alimentación más pequeñas. Y, sobre todo, si se compra un motor con menor torque máximo, el torque que se le puede transmitir al conjunto como caso más desfavorable será mucho inferior, y posiblemente los tornillos pasadores del eje dejarían de romperse tan fácilmente.

## 9. Presupuesto

En el siguiente apartado quedan registrados todos los materiales, herramientas, y personas colaboradoras, que han intervenido en este proyecto para que fuera posible la construcción del prototipo en su totalidad.

Para la tabla 7.1, en la que se muestra la lista de materiales y herramientas. En los casos en los que no hay precio es porque no hubo la necesidad de comprarlos, ya que había en stock en el laboratorio.

**Tabla 9.1:** Lista de materiales

| <b>Materia prima</b>                                       | <b>Cantidad seleccionada</b> | <b>Precio unitario</b> | <b>Precio total</b> |
|--|------------------------------|------------------------|---------------------|
| <i>Placa metálica para construcción de engranajes</i>      | 3                            | 500\$                  | 1,500\$             |
| <i>motor de limpiaparabrisas tsuru 3</i>                   | 1                            | 250\$                  | 250\$               |
| <i>Ventosa Para Vidrio 2 Copas De Succión Pretul</i>       | 1                            | 119\$                  | 119\$               |
| <i>Broca de centro para CNC</i>                            | 1                            | 73.5\$                 | 73.5\$              |
| <i>Cortador recto ¼ de carburo (fresadora)</i>             | 2                            | 156.9\$                | 313.8\$             |
| <i>Broca 1/8 acero alta velocidad</i>                      | 2                            | 15\$                   | 30\$                |
| <i>Broca 15/32 acero alta velocidad</i>                    | 1                            | 15\$                   | 15\$                |
| <i>Soporte pantalla pared Steren</i>                       | 1                            | 240\$                  | 240\$               |
| <i>Resina epoxi</i>  | 1                            | 67.6\$                 | 67.6\$              |
| <i>Placa de sacrificio para apoyo en el CNC</i>            | 1                            | -                      | -                   |
| <i>Cilindro metálico refuerzo para ventosa</i>             | 1                            | -                      | -                   |
| <i>Cilindro metálico para unión del eje motor</i>          | 1                            | -                      | -                   |
| <i>Tornillo sin fin para acoplamiento de engrane motor</i> | 1                            | -                      | -                   |
| <i>Placa metálica para apoyo en el salpicadero</i>         | 1                            | -                      | -                   |
| <i>Estructura de estantería</i>                            | 1                            | -                      | -                   |
| <i>Ventosas individuales de 6cm de diámetro</i>            | 2                            | 40\$                   | 80\$                |
| <i>Rondadas, tuercas, valeros y tornillos</i>              | -                            | -                      | 400 \$              |
| <b>Total</b>   | -                            | -                      | 3088.9\$            |

**Tabla 9.2:** Maquinaria utilizada

| <b>Maquina</b>   | <b>Descripción de uso</b>  |
|------------------|--|
| Fresadora CNC    | Generación de los engranajes   |
| Torno Manual     | Mecanizado de piezas de aluminio para generar algunos de los componentes del sistema |
| Taladro de banco |  |
| Fresadora manual |  |
|                  |  |

**Tabla 9.3:** Mano de obra

| Personal  | Función   |
|---|---|
| Doctor Rogelio Bustamante<br>Ingeniero Javier Izquierdo     | Asesoramiento y supervisión de la evolución del proyecto  |
| Juan Escalona<br>Rafael Escudero Nancy Mariana<br>Valeriano | Estudiantes colaboradores en el diseño y construcción del sistema fabricado   |
| Antonio<br>Valentín   | Ingenieros encargados de la supervisión y apoyo en el uso de la maquinaria utilizada en el laboratorio de mecánica del campus |
| Profesor Gregory  | Ingeniero especializado en el uso de fresadora CNC  |
| Roger Climent   | Estudiante a cargo del diseño y construcción del sistema, y del escrito del presente informe                                  |
|   |   |



## 10. Dilema ético

En este apartado se va a proceder a redactar brevemente las consecuencias que tendría usar este sistema indebidamente en las vías públicas.

El mal uso de este sistema podría causar accidentes graves en las vías públicas. Esto podría suceder por una mala instalación de este en el vehículo, y por tanto que no realizara su función correctamente. Por otra parte, también podría darse esta situación, si se utilizaran componentes para la construcción o instalación que no son adecuados para las funciones a desempeñar. Un ejemplo de esto podría ser el tornillo pasador del eje motor, en el modelo presente a quedado demostrado que el material utilizado no es adecuado por sus propiedades mecánicas.

En el caso de que el conductor se diera cuenta de que el sistema no está funcionando correctamente, no podría hacer nada al respecto. Al estar todo el conjunto instalado, el uso manual del volante no es posible, por lo que el usuario no podría redirigir el vehículo para evitar un accidente.

## 11. Bibliografía

### Documentos electrónicos

- ITESM, Proyecto ADMAS: Implementación de sistema mecatrónico para control de dirección, 2017, fecha de consulta: Enero/2018
- ITESM, Proyecto ADMAS: Implementación de Sistema mecatrónico para control de aceleración y frenado, 2017, fecha de consulta: Enero/2018
- ITESM, Engranajes, consideraciones generales, Materia: Elementos de Máquinas, 2017, fecha de consulta: Enero/2018
- Universidad del País Vasco, Cálculo del módulo en engranajes cilíndricos, materia: Elementos de máquinas, fecha de consulta: Enero/2018
- Universidad de Navarra, Engranajes rectos, materia: Elementos de máquinas, fecha de consulta: Marzo/2018
- Transmisiones por ruedas dentadas cálculo de la resistencia mecánica, fecha de consulta: Marzo/2018
- Comportamiento mecánico a torsión del aluminio, fecha de consulta: Marzo/2018
- Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, Transmisiones por ruedas dentadas cálculo de la resistencia mecánica, fecha de consulta: Marzo/2018
- UPC documentos electrónicos, Preparación y caracterización de nanocompuestos en base PLA, fecha de consulta: Abril/2018

### Empresas

- **Anthony Best dynamics** (ABD), 1982, Steering robots system, fecha de consulta: Enero/2018  
[http://www.abd.uk.com/en/driving\\_robots/steering\\_robots](http://www.abd.uk.com/en/driving_robots/steering_robots)
- **Vehico GmbH**, Germany, CO.ACT - driving robots for vehicle testing, fecha de consulta: Enero/2018  
<http://www.vehico.com/index.php/en/products/co-act/steering-robot>
- **Magus technology Corporation**, 2001, Korea, Programmable steering controllers, fecha de consulta: Enero/2018  
[http://www.magus.co.kr/main/product\\_dep2.php?idx=707](http://www.magus.co.kr/main/product_dep2.php?idx=707)
- **Stähle Robot systems**, 1984, Steering robots, fecha de consulta: Enero/2018  
<http://www.stahle.com/en/produkte.php?gr=3>
- **Nvidia Automotive**, Unated States, Self-driving cars, fecha de consulta: Enero/2018  
[https://www.nvidia.com/en-us/self-driving-cars/#utm\\_source=shorturl&utm\\_medium=referrer&utm\\_campaign=drive](https://www.nvidia.com/en-us/self-driving-cars/#utm_source=shorturl&utm_medium=referrer&utm_campaign=drive)
- **SKF**, technology supplier: alineación de ejes, fecha de consulta: Marzo/2018  
<http://www.skf.com/mx/products/maintenance-products/alignment-tools/shaft-alignment-tools/info.html>
- **Producto3d**, proveedor de materiales de ingeniería, fecha de consulta: Abril/2018  
<http://producto3d.com/>

### Artículos

- **Self-Driving Cars Could Help Save the Environment—Or Ruin It**, 2016, *Time*, Justin Worland  
<http://time.com/4476614/self-driving-cars-environment/>
- **Autonomous Vehicles Have a Wide Range of Possible Energy Impacts**, 2013, *National Renewable energy laboratory*, United States  
<https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/59210.pdf>
- **Los seis niveles de clasificación de los coches autónomos**, 2016, Sociedad de Ingenieros automotrices (SAE), United States  
<http://www.20minutos.es/noticia/2825372/0/clasificiacion-coches-autonomos/>  
<http://www.sae.org/>

## 12. Anexos

Proyecto de Ingeniería – ADMAS: Rediseño del sistema de control de dirección  
ITESM – Campus de Ciudad de México

Anexo 1: Ficha técnica vehículo de pruebas (Ford Focus)

| 2013 Ford Focus Technical Specifications |                 |                 |
|--|-----------------|-----------------|
| Brakes                                   | S               | SE              |
| Brake ABS System                         | 4-Wheel         | 4-Wheel         |
| Brake Type                               | Pwr             | Pwr             |
| Disc - Front (Yes or )                   | Yes             | Yes             |
| Disc - Rear (Yes or )                    | Yes             | Yes             |
| Drum - Rear (Yes or )                    | Yes             | Yes             |
| Front Brake Rotor Diam x Thickness (in)  | 10.94 x - TBD - | 10.94 x - TBD - |
| Rear Brake Rotor Diam x Thickness (in)   | - TBD -         | - TBD -         |
| Rear Drum Diam x Width (in)              |                 | 8.97 x - TBD -  |
| Cargo Area Dimensions                    | S               | SE              |
| Cargo Volume with Rear Seat Down (ft³)   |                 | 44.8            |
| Cargo Volume with Rear Seat Up (ft³)     |                 | 23.8            |
| Trunk Volume (ft³)                       | 13.2            | 13.2            |
| Cooling System                           | S               | SE              |
| Total Cooling System Capacity (qts)      | - TBD -         | - TBD -         |
| Electrical                               | S               | SE              |
| Cold Cranking Amps @ 0° F (Primary)      | - TBD -         | - TBD -         |
| Maximum Alternator Capacity (amps)       | - TBD -         | - TBD -         |
| Emissions                                | S               | SE              |
| EPA Greenhouse Gas Score                 | - TBD -         | - TBD -         |

Proyecto de Ingeniería – ADMAS: Rediseño del sistema de control de dirección  
ITESM – Campus de Ciudad de México

| Engine                               | S                 | SE                |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Displacement                         | 2.0L/122          | 2.0L/122          |
| Engine Type                          | Gas 14            | Gas 14            |
| Fuel System                          | Direct Injection  | Direct Injection  |
| SAE Net Horsepower @ RPM             | 160 @ 6500        | 160 @ 6500        |
| SAE Net Torque @ RPM                 | 146 @ 4400        | 146 @ 4400        |
| Exterior Dimensions                  | S                 | SE                |
| Height, Overall (in)                 | 67.7              | 67.7              |
| Length, Overall (in)                 | 178.5             | 178.5             |
| Liftover Height (in)                 | - TBD -           | - TBD -           |
| Min Ground Clearance (in)            | - TBD -           | - TBD -           |
| Track Width, Front (in)              | 61.2              | 61.2              |
| Track Width, Rear (in)               | 60.8              | 60.8              |
| Wheelbase (in)                       | 104.3             | 104.3             |
| Width, Max w/o mirrors (in)          | 71.8              | 71.8              |
| Fuel Tank                            | S                 | SE                |
| Fuel Tank Capacity, Approx (gal)     | 12.4              | 12.4              |
| Steering                             | S                 | SE                |
| Lock to Lock Turns (Steering)        | 2.6               | 2.6               |
| Steering Ratio (:1), Overall         | 14.7              | 14.7              |
| Steering Type                        | Pwr Rack & Pinion | Pwr Rack & Pinion |
| Turning Diameter - Curb to Curb (ft) | - TBD -           | - TBD -           |
| Turning Diameter - Wall to Wall (ft) | - TBD -           | - TBD -           |
| Suspension                           | S                 | SE                |
| Shock Absorber Diameter - Front (mm) | N/A               | N/A               |
| Shock Absorber Diameter - Rear (mm)  | N/A               | N/A               |
| Stabilizer Bar Diameter - Front (in) | 0.92              | 0.92              |
| Stabilizer Bar Diameter - Rear (in)  | 0.76              | 0.76              |
| Suspension Type - Front              | MacPherson Strut  | MacPherson Strut  |
| Suspension Type - Rear               | Independent       | Independent       |
| Tires                                | S                 | SE                |
| Front Tire Size                      | P195/65R15        | P215/50R17        |
| Rear Tire Size                       | P195/65R15        | P215/50R17        |
| Spare Tire Size                      | Compact           | Compact           |

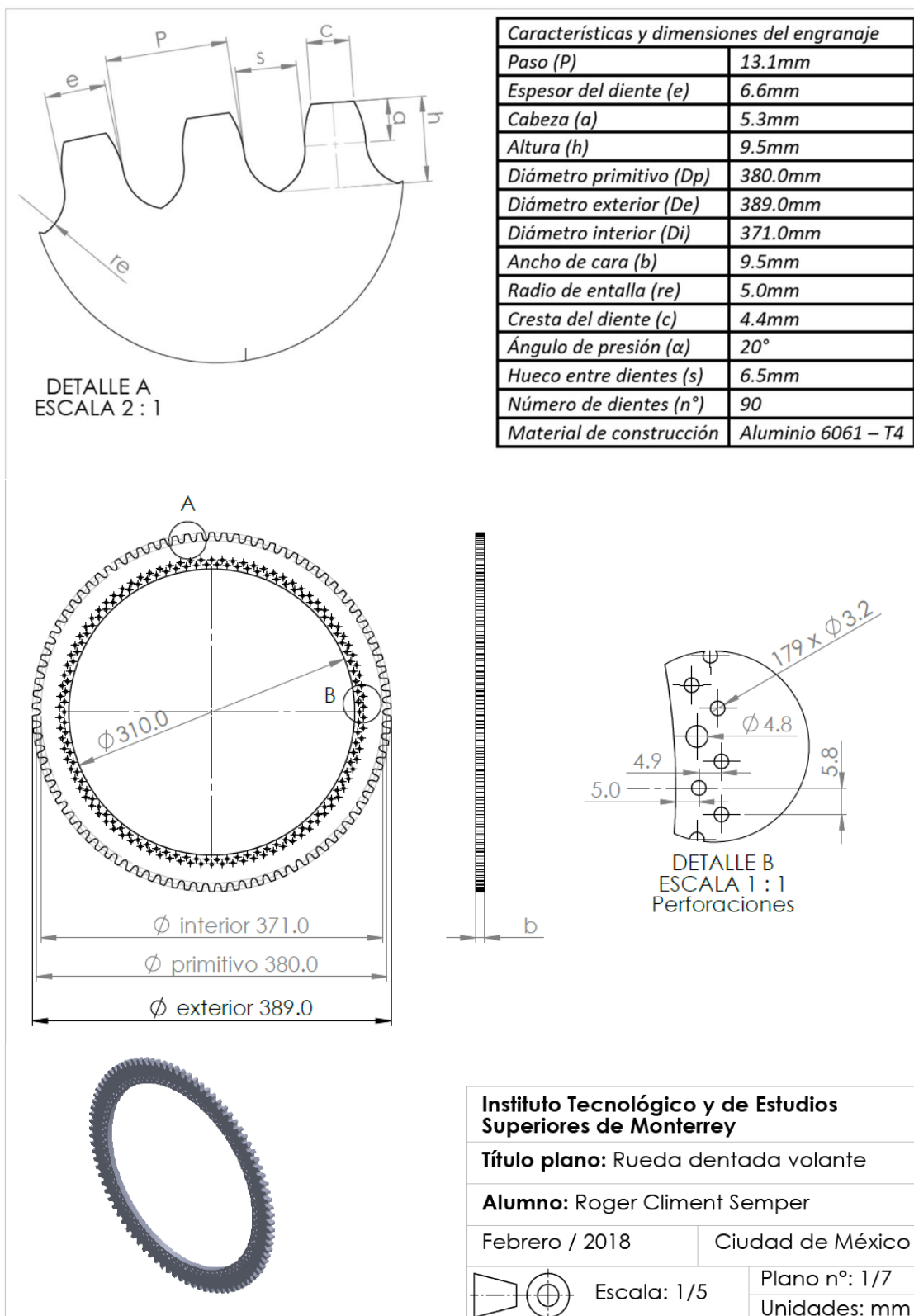


Proyecto de Ingeniería – ADMAS: Rediseño del sistema de control de dirección  
ITESM – Campus de Ciudad de México

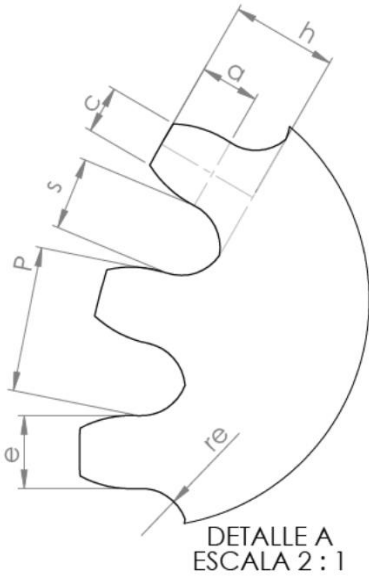
| Transmission                | \$                | SE                |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| Clutch Size (in)            | - TBD -           | - TBD -           |
| Drivetrain                  | Front Wheel Drive | Front Wheel Drive |
| Fifth Gear Ratio (:1)       | 0.81              | 0.81              |
| Final Drive Axle Ratio (:1) | 3.62              | 3.62              |
| First Gear Ratio (:1)       | 3.67              | 3.67              |
| Fourth Gear Ratio (:1)      | 1.021             | 1.021             |
| Reverse Ratio (:1)          | 3.507             | 3.507             |
| Second Gear Ratio (:1)      | 2.14              | 2.14              |
| Sixth Gear Ratio (:1)       | 0.702             | 0.702             |
| Third Gear Ratio (:1)       | 1.436             | 1.436             |
| Trans Description Cont.     | Automatic         | Automatic         |
| Trans Order Code            | 441V              | 441V              |
| Trans Type                  | 5                 | 5                 |
| Vehicle                     | \$                | SE                |
| EPA Classification          | Compact           | Compact           |
| Weight Information          | \$                | SE                |
| Base Curb Weight (lbs)      | 2907              | 2907              |
| Wheels                      | \$                | SE                |
| Front Wheel Material        | Steel             | Aluminum          |
| Front Wheel Size (in)       | 15 x - TBD -      | 16 x - TBD -      |
| Rear Wheel Material         | Steel             | Aluminum          |
| Rear Wheel Size (in)        | 15 x - TBD -      | 16 x - TBD -      |
| Spare Wheel Material        | Steel             | Steel             |
| Spare Wheel Size (in)       | Compact           | Compact           |

Anexo 2: Planos de los componentes del sistema construido

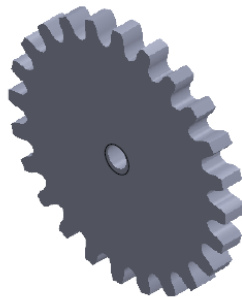
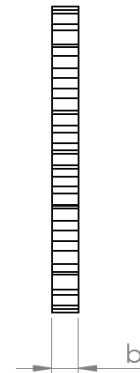
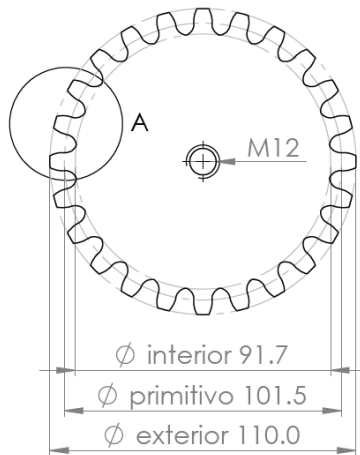
- Plano 1: rueda dentada volante



- Plano 2: rueda dentada motor



| Características y dimensiones del engranaje |                    |
|---|--------------------|
| Paso (P)                                    | 13.1mm             |
| Espesor del diente (e)                      | 6.6mm              |
| Cabeza (a)                                  | 5.3mm              |
| Altura (h)                                  | 9.5mm              |
| Diámetro primitivo (Dp)                     | 101.5mm            |
| Diámetro exterior (De)                      | 110.0mm            |
| Diámetro interior (Di)                      | 91.7mm             |
| Ancho de cara (b)                           | 9.5mm              |
| Radio de entalla (re)                       | 5.0mm              |
| Cresta del diente (c)                       | 4.4mm              |
| Ángulo de presión ( $\alpha$ )              | 20°                |
| Huevo entre dientes (s)                     | 6.5mm              |
| Número de dientes (n°)                      | 24                 |
| Material de construcción                    | Aluminio 6061 – T4 |



**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey**

**Título plano:** Rueda dentada motor

**Alumno:** Roger Climent Semper

Febrero / 2018

Ciudad de México

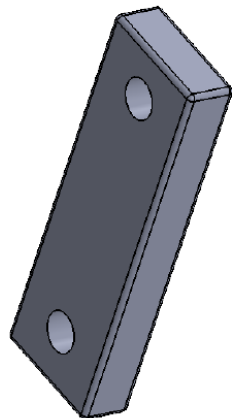
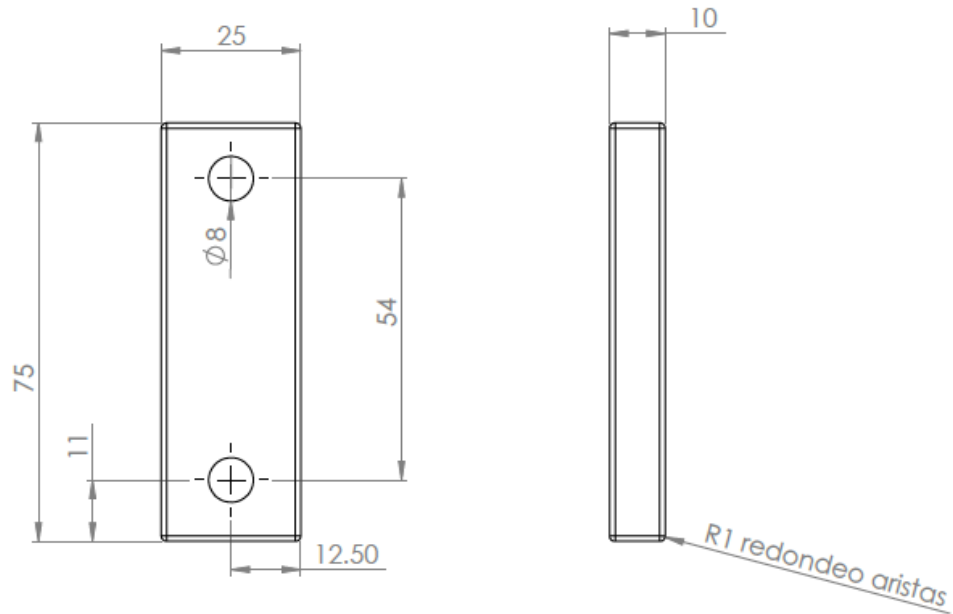


Escala: 1/2

Plano n°: 2/7

Unidades: mm

- Plano 3: barra para estructura de soporte



**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey**

**Título plano:** Barra estructural (2 unidades)

**Alumno:** Roger Climent Semper

Marzo / 2018

Ciudad de México

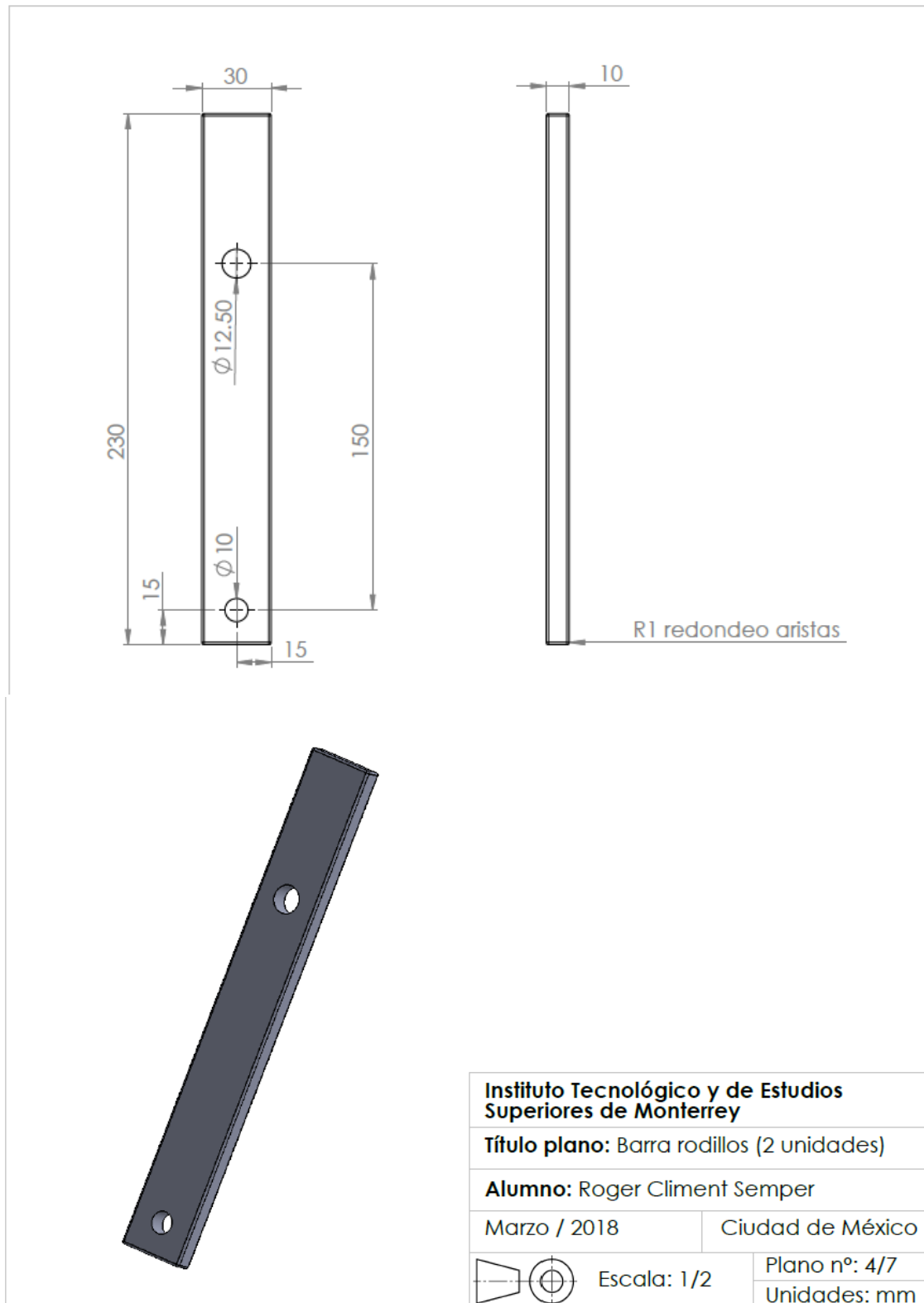


Escala: 1/1

Plano n°: 3/7

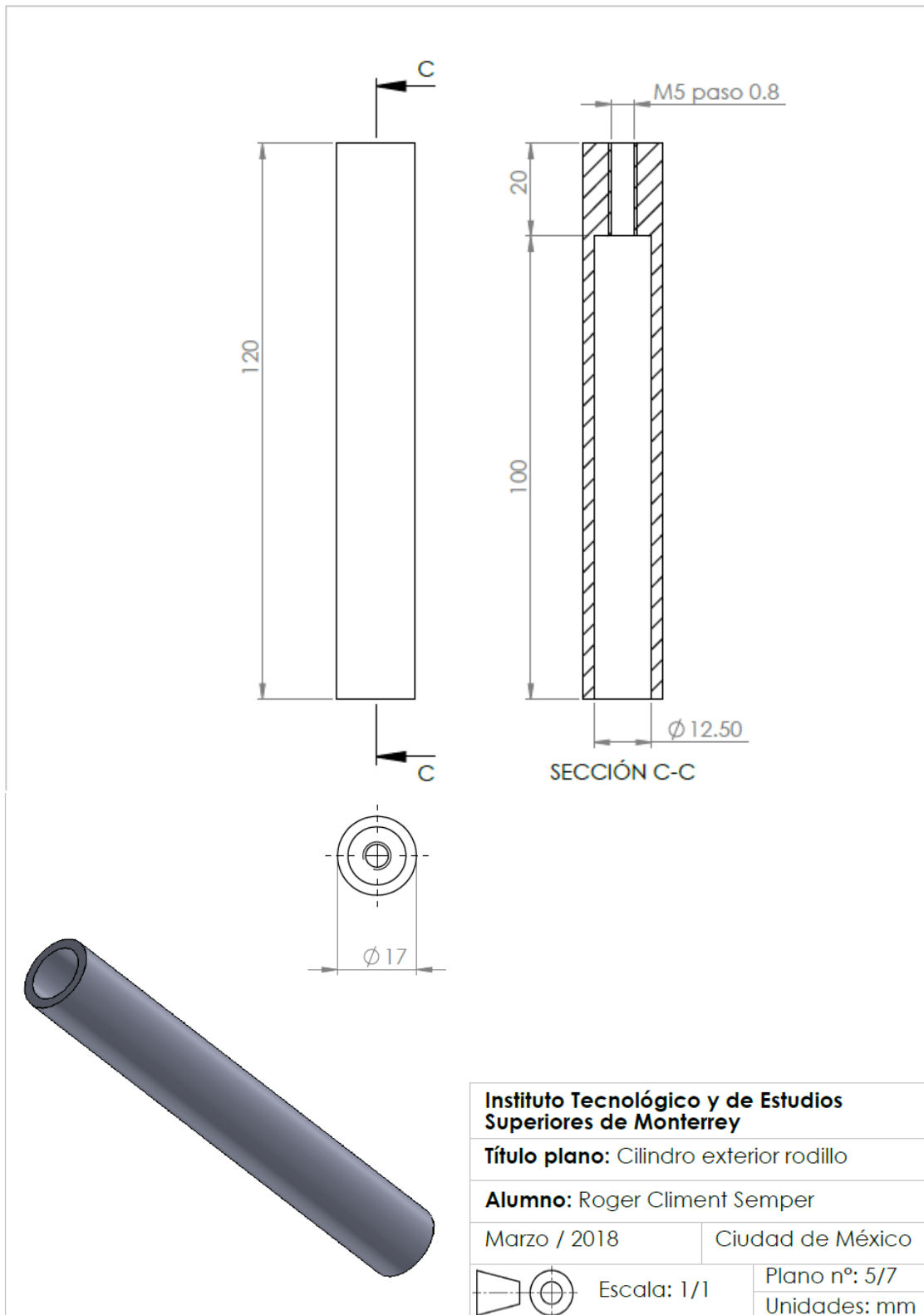
Unidades: mm

- Plano 4: barra para sistema de rodillos

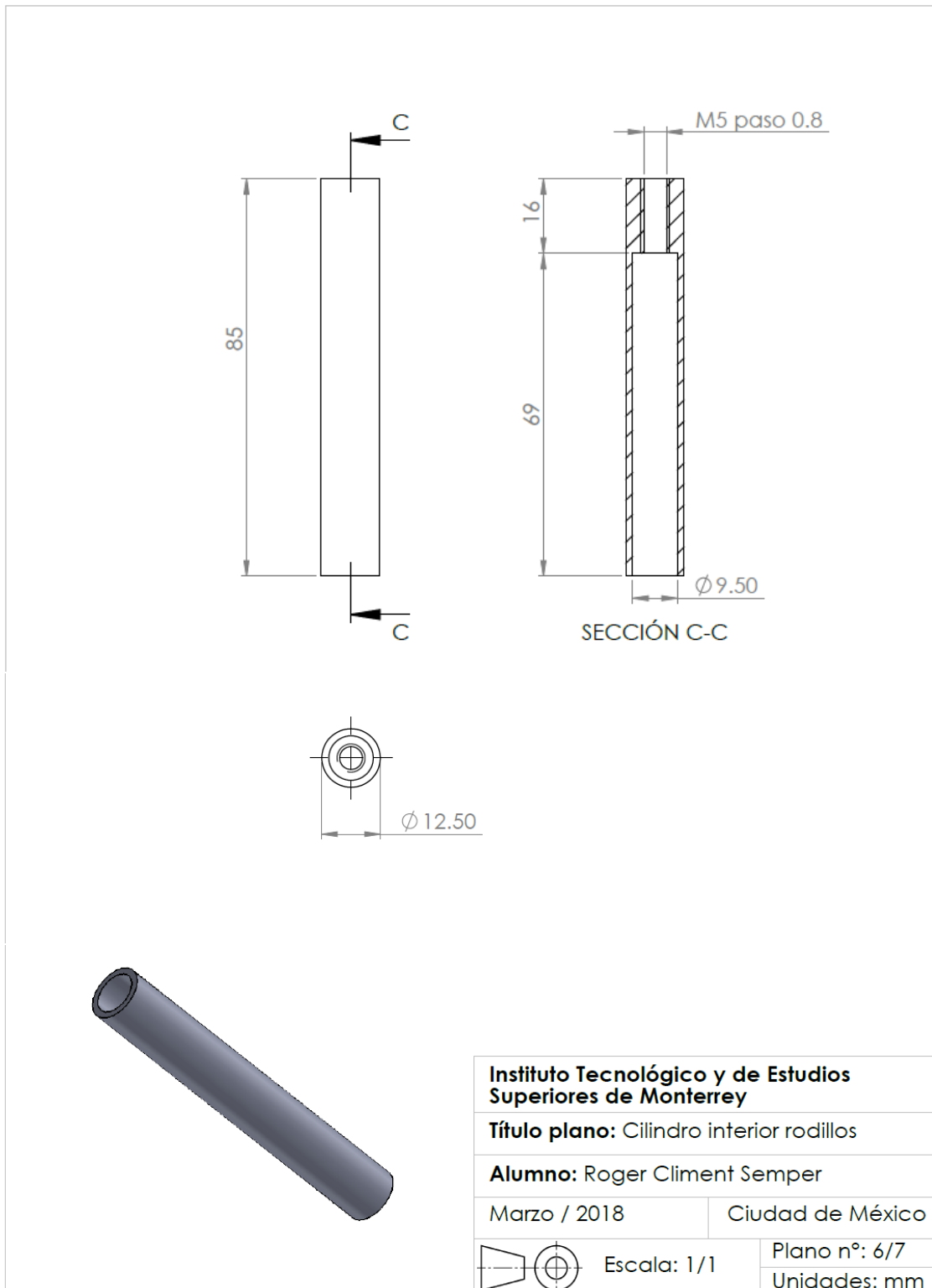




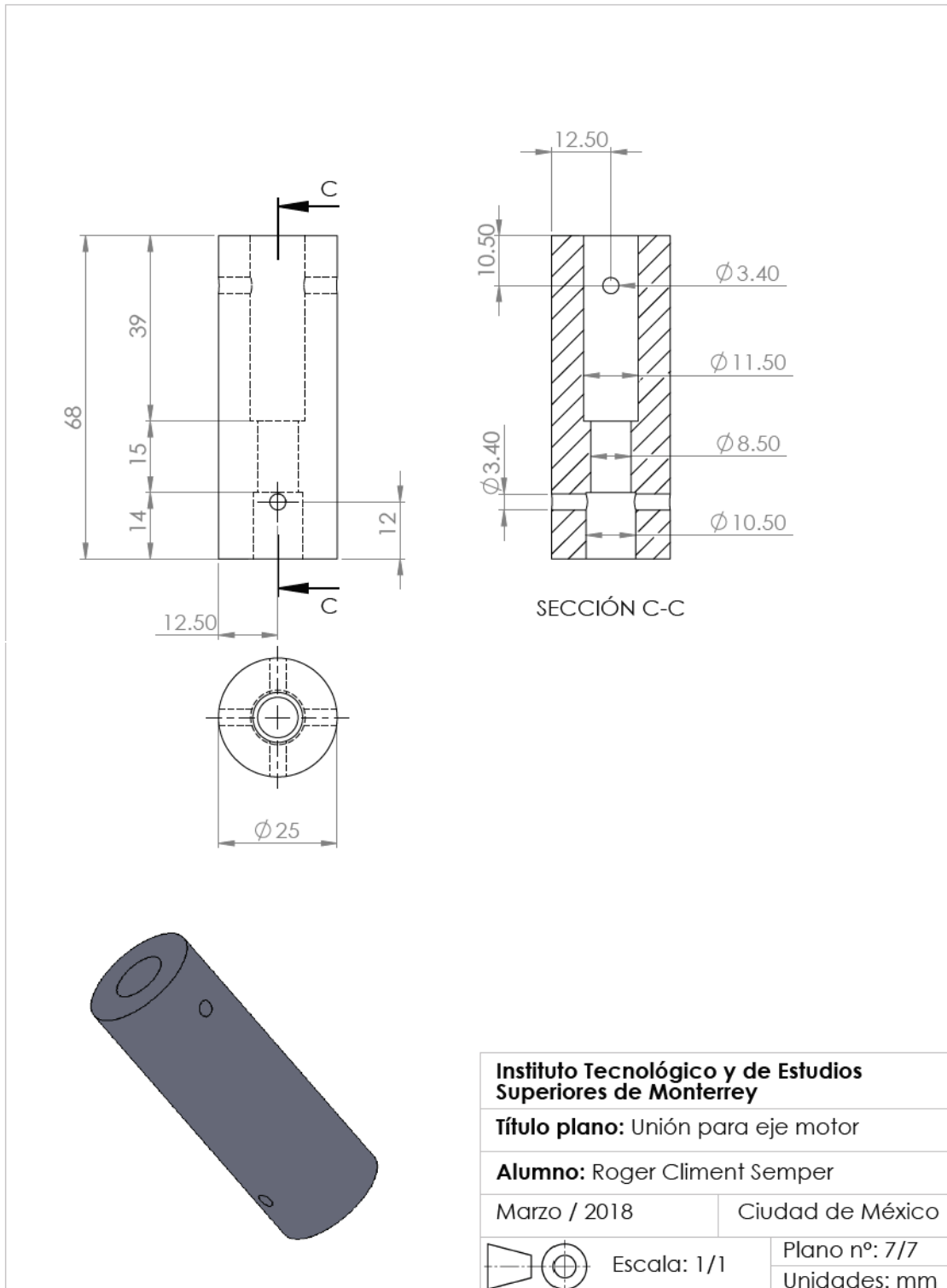
- Plano 5: cilindro exterior para sistema de rodillos



- Plano 6: cilindro interior para sistema de rodillos



- Plano 7: barra de unión para eje de motor



### Anexo 3: Cálculos de resistencia del aluminio

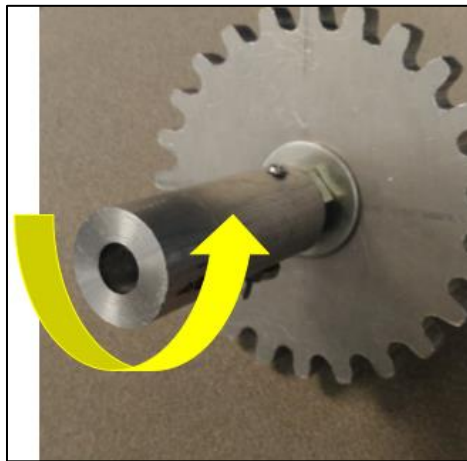
En este anexo quedan detallados los cálculos de esfuerzos en algunas de las piezas de aluminio construidas en el laboratorio. El criterio de selección de las piezas a estudiar fue básicamente calcular todas las piezas a las que se les aplicara un esfuerzo diferente del de tracción o compresión, ya que estos esfuerzos son muy leves, y se supone que los componentes de aluminio los van a soportar sin problema. A las barras estructurales construidas para el sistema de soporte, se les aplica un esfuerzo cortante, pero tampoco se consideró necesario calcularlo ya que es un esfuerzo mínimo y resistible para el aluminio.

Por este motivo se decidió calcular 2 piezas. En primer lugar, la pieza de unión del eje motor, la cual está sometida a torsión. En segundo lugar, se va calcular la resistencia de los dientes de los engranajes. En este segundo caso se analizarán los esfuerzos en la zona de la base de los dientes, ya que, si estos se llegarán a romper, este es el punto más crítico de rotura.

- Pieza eje motor:

#### Descripción:

Para esta pieza se calculó el esfuerzo cortante que genera la torsión en el eje y se comparó con el límite elástico del aluminio para comprobar si el material iba a soportar o no el esfuerzo.



**Imagen 11.1:** esfuerzo de torsión en eje motor (fuente: fotografía propia)

#### Ecuaciones:

Los esfuerzos de corte  $\tau$  en la zona elástica se determinaron con la siguiente ecuación.

$$\tau = \frac{Mm}{I_p} r$$

Siendo  $Mm$  el momento torsor aplicado al eje de motor. En este caso se trata del momento que se necesita para mover el volante. Al inicio de este proyecto se calculó el momento de volante  $Mv=3.12Nm$ , se va a dejar un margen de seguridad y por tanto se considerará de  $Mv=4Nm$ . Realizando los cálculos pertinentes y considerando 0 pérdidas en la transmisión el torque que recibe el eje motor es el siguiente:

$$Mv = Ft \times Rev \rightarrow Ft = \frac{Mv}{Rev} = \frac{4}{0.389/2} = 20.6N$$

$$Mm = Ft \times Rem = 20.6 \times \frac{0.11}{2} = 1.133Nm$$

Mv es el momento para mover el volante, sabemos que la fuerza tangencial Ft es la misma en los 2 engranes. Rev es el radio exterior del volante, de ahí se saca la Ft. Una vez se tiene la Ft y el radio exterior del engrane de motor Rem, se puede obtener el Momento motor Mm.

r el radio exterior del cilindro; Ip es el momento polar de inercia de la muestra, que en este caso corresponde al momento polar de una sección circular hueca, la ecuación correspondiente es la siguiente:

$$I_p = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}$$

Siendo D el diámetro exterior y d el diámetro interior. La pieza a estudiar tiene diferentes partes con distintos diámetros interiores. El caso más desfavorable es con el diámetro interior mayor, ya que en ese caso hay menos material resistiendo los esfuerzos, por ese motivo se seleccionó el diámetro interior mayor para el estudio.

#### Datos:

$$Mm = 1.133Nm = 1133Nmm$$

$$r = 12.5mm$$

$$d = 11mm$$

$$D = 25mm$$

#### Cálculos:

$$\tau = \frac{M}{I_p} r = \frac{M}{\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}} r = \frac{1,133Nmm}{\frac{\pi(25mm^4 - 11mm^4)}{32}} 12.5mm = 0.384N/mm^2 = 0.384MPa$$

#### Comparación:

Finalmente, este valor se compara con el límite elástico del material.

Límite elástico del aluminio 6061 - T4 = 227.0MPa

Como se puede observar, ( $0.384MPa < 227.0MPa$ ) el esfuerzo generado es mucho menor que el límite del material por lo que en este caso el aluminio se puede considerar una opción viable.

- Rueda dentada motor:

#### Descripción:

Se calcularon los esfuerzos generados en la base de los dientes, mediante la ecuación de esfuerzo máximo de la cual se puede deducir la ecuación de Lewis. Esta simple ecuación da una buena aproximación del esfuerzo generado en los dientes. Si este valor fuera muy similar, igual o superior al límite elástico del material. Entonces se tendría que recurrir a las ecuaciones de AGMA (American Gear Manufacturers Association), para obtener un valor más exacto del esfuerzo y poder concluir si se considera o no apto el aluminio para este caso. Las ecuaciones de AGMA utilizan la misma ecuación de base, pero además tiene en cuenta más variables (estáticas, dinámicas, físicas, etc.) de las características de la situación de trabajo de los engranajes, que pueden aumentar el valor del esfuerzo generado en los dientes.

Los cálculos mediante la ecuación, se realizaron a partir de los datos y medidas del engranaje de motor. El perfil y dimensiones del diente son iguales en los dos engranajes, y la fuerza por la 3ra ley de Newton también, por lo que los esfuerzos en los dientes son los mismos.

#### Hipótesis y consideraciones para realizar los cálculos:

- Como el esfuerzo de compresión es pequeño comparado con el de flexión, su efecto sobre la resistencia del diente se suele omitir en los cálculos.
- Los dientes están empotrados en el cuerpo del engrane.
- Carga uniforme en el ancho del diente.
- Carga aplicada en el extremo del diente.
- Las fuerzas de fricción por deslizamiento son despreciadas.

#### Ecuaciones:

Ecuación de esfuerzo máximo en la base del diente, punto crítico de la rueda dentada.

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{F_t h}{\frac{1}{6} A t^2}$$

M: momento flector sobre la base del diente, que este es igual al momento motor  $M_m=0.91\text{Nm}$ , que viene dado por el torque que necesita para mover el volante  $M_v=3.12\text{Nm}$ , pero se dejara un margen de seguridad y se considerara  $M_m=1.133\text{Nm}$ , que viene de un momento volante  $M_v=4\text{Nm}$ .

Z: módulo de flexión de la sección transversal.  $Z = \frac{1}{6} A t^2$

$F_t$ : fuerza transversal necesaria para mover el volante. Sabiendo el diámetro exterior y el torque se puede encontrar la fuerza.  $M = F_t \frac{D_e}{2}$

h: altura del diente, distancia des de la base del diente hasta el extremo del diente.  $h=18.3\text{mm}$

A: ancho de cara del diente.  $A=9.5\text{mm}$

t: espesor del diente.  $t=6.6\text{mm}$



Cálculos:

- Fuerza transversal ( $F_t$ ):

$$M = F_t \frac{D_e}{2} \rightarrow F_t = \frac{Mm}{\frac{D_{em}}{2}} = \frac{1.133Nm}{\frac{0.11m}{2}} = 20.6N$$

- Esfuerzo máximo ( $\sigma$ ):

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{F_t h}{\frac{1}{6}At^2} = \frac{20.6 \cdot 18.3}{\frac{1}{6}9.5 \cdot 6.6^2} = 19.3N/mm^2 = 5.47MPa$$

Comparación:

Finalmente, este valor se compara con el límite elástico del material.

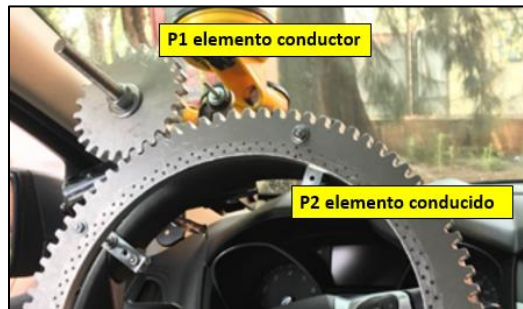
Límite elástico del aluminio 6061-T4 = 227.0MPa

Como se puede observar, ( $5.47MPa < 227.0MPa$ ) el esfuerzo generado es menor que el límite del material por lo que en este caso el aluminio se puede considerar una opción viable.

#### Anexo 4: Cálculos de dimensionamiento del motor (torque)

Estos cálculos se realizaron al final del proyecto, ya que, durante la simulación de esfuerzos en SolidWorks, se descubrió un error de concepto que se había estado arrastrando desde los primeros reportes del proyecto del control de dirección.

Por teoría de engranajes, se sabe que la potencia del engranaje conductor es igual a la potencia (P) del conducido multiplicado por un rendimiento de transmisión. Este rendimiento representa básicamente las pérdidas por fricción, que están relacionadas con la velocidad de giro del conjunto, la lubricación del sistema, etc. Este rendimiento suele estar entre 97 – 99.8%. Para este caso lo vamos a despreciar porque no es tan importante para lo que se quiere demostrar.



**Imagen 11.2:** potencia en engranajes (fuente: fotografía propia)

Para las variables del engrane conductor (el de motor), se utilizará subíndice 1.

Para las variables del engrane conducido (el de volante), se utilizará subíndice 2.

Abreviaturas:

P = potencia                       $\omega$  = velocidad angular                      T = torque                      Z = n° de dientes

$\eta$  = rendimiento                       $r_t$  = relación de transmisión                      r = radio

Ecuaciones:

Potencia de entrada igual a la de salida multiplicada por un rendimiento.

$$P_1 = P_2 \times \eta \rightarrow \text{considerando rendimiento } (\eta) = 1 \rightarrow P_1 = P_2$$

Teniendo en cuenta que la potencia es igual a el torque por la velocidad angular ( $P = T \times \omega$ ).

$$P_1 = P_2 \rightarrow T_1 \times \omega_1 = T_2 \times \omega_2$$

Se sabe también que la velocidad angular ( $\omega$ ) de los engranajes esta directamente relacionada la una con la otra con la relación de transmisión. Esta relación es también la inversa, si se hace con los dientes de los engranes (Z).

$$r_t = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{24 \text{ dientes}}{90 \text{ dientes}} = 0.267 \rightarrow \omega_2 = 0.267\omega_1$$

Con todo esto si sustituimos en la ecuación de potencias el resultado es:

$$\left\{ \begin{array}{l} T1 \times \omega1 = T2 \times \omega2 \\ \omega2 = 0.267\omega1 \end{array} \right\} \rightarrow T1 \times \omega1 = T2 \times 0.267\omega1 \rightarrow T1 = T2 \times 0.267$$

Aquí queda demostrado por tanto que el torque en esta situación, es casi 4 veces más pequeño en el eje motor que en el volante.

Por otro lado, por la tercera ley de Newton también sabemos que si el engrane conductor aplica una fuerza  $x$  al conducido, el engrane conductor va a recibir una fuerza de la misma magnitud, pero de sentido contrario. Esto significa que las fuerzas que reciben los engranajes son iguales.

$$T1 = F1 \times r1 \rightarrow F1 = \frac{T1}{r1}$$

$$F1 = F2 \rightarrow \frac{T1}{r1} = \frac{T2}{r2} \rightarrow T1 = \frac{T2}{r2} \times r1$$

Con todo esto, si sabemos que necesitamos  $T2 = 3.2\text{Nm}$  para mover el volante:

- En el caso de que los engranes estén en contacto en el diámetro primitivo el torque 1 es:

Diámetro primitivo 1 = 101.5mm

Diámetro primitivo 2 = 380.0mm

$$T1 = \frac{T2}{r2} \times r1 = \frac{3.2}{0.380/2} \times 0.1015/2 = 0.85\text{Nm}$$

- En el caso de que los engranes estén en contacto en el diámetro exterior (la cresta del diente) el torque 1 es:

Diámetro exterior 1 = 110.0mm

Diámetro exterior 2 = 389.0mm

$$T1 = \frac{T2}{r2} \times r1 = \frac{3.2}{0.389/2} \times 0.110/2 = 0.91\text{Nm}$$

Al haber una ligera variación de la relación entre diámetros, también hay una leve variación del torque. Como en el caso de trabajar en la cresta del diente, se le exige al diente un torque más elevado. Este fue el torque que se utilizó para el estudio de las simulaciones, por representar el caso más desfavorable.